



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ciencias Químicas
Escuela de Ingeniería Ambiental

“Plan de manejo para la recuperación ambiental del estero El Macho, cantón Machala”

Autores:

Alfaro André Andrade Mera – CI: 1312781790
Wilman Vinicio Carrión Chamba – CI: 0705363323

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental

Director:

Ing. Juan Diego Espinoza Gárate
CI: 0301989448

Cuenca - Ecuador
2018

RESUMEN

En esta tesis se presenta una propuesta de plan de manejo para la recuperación ambiental del estero El Macho del cantón Machala. La metodología empleada es la recomendada por el Programa de Reparación Ambiental y Social (PRAS) del Ministerio del Ambiente de Ecuador, para lo cual se recopiló información acerca de la situación actual de la zona de estudio. Posteriormente, se realizó una evaluación de los impactos ambientales encontrados, utilizando la Matriz de Importancia propuesta por Conesa (1997), verificando que los impactos más negativos para la zona de estudio corresponden a la alteración de la calidad del agua por las descargas directas de aguas residuales domésticas y por la introducción de residuos sólidos generados por la población. Luego, para conocer el estado de conservación del ecosistema se empleó el Índice de Calidad del Agua de la National Sanitation Foundation (ICA-NSF) en cuatro puntos estratégicos a lo largo del estero durante tres campañas de muestreo realizadas en los meses de febrero, marzo y mayo, donde se presentaron condiciones climáticas secas y lluviosas. Se obtuvieron valores del ICA comprendidos entre 13.76 y 54.90, los cuales indican que la calidad del agua varía de “Muy mala” a “Media”, siendo predominante la categoría “Mala” en la mayoría de los resultados; en efecto, se pudo comprobar que la calidad del agua es mayormente afectada por los parámetros de coliformes fecales y oxígeno disuelto, en donde se registraron valores extremos de hasta 2.2×10^8 NMP/100 ml y 0.19 mg/l respectivamente. Finalmente, se elaboró un plan que presenta medidas de acción para la recuperación de la calidad del agua y la biodiversidad en el estero, así como para el adecuado manejo de los residuos sólidos y el desarrollo social.

Palabras clave: Plan de manejo, Índice de calidad de agua - NSF, Evaluación de impactos ambientales, Contaminación del agua, Machala.

ABSTRACT

This thesis presents a proposal for a management plan of the environmental recovery of the El Macho estuary in the city of Machala. The methodology used is the recommended one by the Environmental and Social Reparation Program of the environmental ministry of Ecuador, for which information was gathered about the current situation of the area of study. As a result, an assessment of the environmental impacts was made, using the Importance Matrix proposed by Conesa (1997), verifying that the most negative impacts for the area of research corresponded to the alteration of water quality due to direct discharges of domestic wastewater and the introduction of solid waste generated by the population. The next step was to find out the state of conservation of the ecosystem, to accomplish this the Water Quality Index of the National Sanitation Foundation (WQI-NSF) was used in four strategic points along the estuary during three sampling campaigns in the months of February, March and May, where dry and rainy weather conditions were present. Values of the WQI between 13.76 and 54.90 were obtained, which indicated that the water quality varies from "Very Bad" to "Medium", "Bad" being the predominant category in most of the results; in fact, it was found that the quality of the water is mostly affected by the fecal coliform and dissolved oxygen parameters, where extreme values like 2.2×10^8 MPN / 100 ml and 0.19 mg/l respectively were recorded. Finally, a plan was developed that presents actions recommendations for the recovery of water quality and the biodiversity in the estuary, as well as the appropriate management of solid waste and social development.

Keywords: Management plan, Water quality index - NSF, Evaluation of environmental impacts, Water pollution, Machala.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
ÍNDICE DE CONTENIDOS	4
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	8
CLÁUSULAS	10
AGRADECIMIENTOS	14
DEDICATORIAS	15
1. INTRODUCCIÓN	17
1.1. Objetivos	19
1.1.1. Objetivo general	19
1.1.2. Objetivos específicos	19
2. CONTENIDO TEÓRICO	20
2.1. Aspectos generales	20
2.1.1. Ambiente	20
2.1.2. Desarrollo sostenible	20
2.1.3. Contaminación ambiental	20
2.1.4. Plan de recuperación ambiental	21
2.2. Índices de Calidad del Agua	21
2.3. Parámetros de calidad del agua	22
2.3.1. Parámetros Físicos	22
2.3.1.1. Temperatura	22
2.3.1.2. Turbiedad	23
2.3.2. Parámetros Químicos	23
2.3.2.1. Potencial de hidrógeno	23
2.3.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno	24
2.3.2.3. Nitratos	24
2.3.2.4. Fosfatos	24
2.3.2.5. Sólidos Totales	25
2.3.2.6. Oxígeno Disuelto	25
2.3.3. Parámetros Microbiológicos	26
2.3.3.1. Coliformes Fecales	26
2.4. Alteración de la calidad del agua	27
2.4.1. Contaminantes del agua	27



2.4.2.	Residuos sólidos	27
2.4.3.	Aguas residuales.....	27
2.4.3.1.	Aguas residuales domésticas.....	27
2.4.3.2.	Aguas residuales industriales.....	27
2.5.	Línea base del estero El Macho	28
2.5.1.	Antecedentes	28
2.5.2.	Aspectos generales.....	28
2.5.2.1.	Ubicación y longitud	28
2.5.2.2.	Climatología	28
2.5.2.3.	Geología	29
2.5.2.4.	Hidrografía	29
2.5.2.5.	Uso de suelo	29
2.5.3.	Aspectos sociales	29
2.5.3.1.	Componente socio-cultural.....	29
2.5.3.2.	Componente físico-espacial	30
2.6.	Diagnóstico ambiental.....	30
2.6.1.	Calidad del agua	30
2.6.1.1.	Descargas al estero El Macho	32
2.6.1.2.	Medio marino	32
2.6.2.	Calidad del aire	33
2.6.3.	Calidad del suelo.....	34
2.6.4.	Biodiversidad	34
2.6.4.1.	Flora:.....	34
2.6.4.2.	Fauna:.....	34
2.6.5.	Importancia de remediación del estero.....	35
3.	METODOLOGÍA	36
3.1.	Plan de manejo para recuperación ambiental	36
3.2.	Evaluación de impactos ambientales	36
3.2.1.	Matriz de importancia.....	36
3.2.2.	Importancia del impacto ambiental.....	37
3.3.	Estado de conservación	41
3.3.1.	Puntos de muestreo	41
3.3.2.	Justificación de la selección de los puntos de muestreo.....	42
3.3.3.	Muestreo	43
3.3.3.1.	Campañas de muestreo	43
3.3.3.2.	Equipos y materiales.....	43
3.3.3.3.	Toma y conservación de las muestras	43



3.3.3.4.	Análisis físico-químico.....	44
3.3.3.5.	Análisis microbiológico.....	44
3.3.4.	Metodología para la determinación del ICA-NSF.....	46
3.3.4.1.	Parámetros de la calidad del agua del modelo NSF.....	46
3.3.4.2.	Cálculo del índice de calidad del agua del modelo NSF.....	46
4.	RESULTADOS.....	50
4.1.	Evaluación de impactos ambientales.....	50
4.1.1.	Reconocimiento de principales impactos.....	50
4.1.1.1.	Componente ambiental: Agua.....	50
4.1.1.2.	Componente social: Población.....	50
4.1.1.3.	Otros impactos.....	50
4.1.2.	Matriz de importancia.....	51
4.2.	Índice de calidad del agua.....	53
4.2.1.	Resultados de parámetros analizados en el laboratorio.....	53
4.2.2.	Resultados del cálculo del ICA-NSF.....	53
4.2.2.1.	Primera campaña:.....	56
4.2.2.2.	Segunda campaña:.....	57
4.2.2.3.	Tercera campaña.....	59
4.2.3.	Análisis de resultados.....	61
4.2.3.1.	Comparación con valores de normativa.....	63
4.2.3.2.	Comparación en diferentes estaciones.....	67
4.3.	Plan de manejo para la recuperación ambiental del estero.....	69
4.3.1.	Medidas de recuperación del recurso agua.....	69
4.3.2.	Medidas para control de residuos sólidos.....	77
4.3.3.	Medidas para recuperación de biodiversidad.....	83
4.3.4.	Medidas de mejora social.....	87
4.3.5.	Tabla resumen de medidas de manejo.....	88
5.	DISCUSIÓN.....	90
6.	CONCLUSIONES.....	92
7.	RECOMENDACIONES.....	94
	BIBLIOGRAFÍA.....	95
	ANEXOS.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Especies de flora en el área de estudio.	34
Tabla 2: Especies de fauna en el área de estudio.	34
Tabla 3: Rangos de clasificación de acuerdo a la importancia del impacto.	37
Tabla 4: Rangos de clasificación de acuerdo a la intensidad del impacto.	38
Tabla 5: Rangos de clasificación de acuerdo a la extensión del impacto.	38
Tabla 6: Rangos de clasificación de acuerdo al momento del impacto.	38
Tabla 7: Rangos de clasificación de acuerdo a la persistencia del impacto.	39
Tabla 8: Rangos de clasificación de acuerdo a la sinergia del impacto.	39
Tabla 9: Rangos de clasificación de acuerdo a la periodicidad del impacto.	39
Tabla 10: Rangos de clasificación de acuerdo a la acumulación del impacto.	40
Tabla 11: Rangos de clasificación de acuerdo al efecto del impacto.	40
Tabla 12: Rangos de clasificación de acuerdo a la reversibilidad del impacto.	40
Tabla 13: Rangos de clasificación de acuerdo a la recuperabilidad del ambiente.	41
Tabla 14: Dirección y coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.	41
Tabla 15: Métodos empleados para la valoración de los parámetros del ICA-NSF.	45
Tabla 16: Peso específico de los parámetros de calidad del ICA-NSF.	47
Tabla 17: Clasificación de la calidad de agua de acuerdo con el ICA-NSF.	49
Tabla 18: Matriz de importancia de impactos ambientales relacionados con el estero El Macho.	51
Tabla 19: Tabla resumen de los resultados obtenidos del laboratorio.	54
Tabla 20: Resultados del ICA-NSF de la primera campaña de muestreo.	56
Tabla 21: Resultados del ICA-NSF de la segunda campaña de muestreo.	57
Tabla 22: Resultados del ICA-NSF de la tercera campaña de muestreo.	59
Tabla 23: Comparación de parámetros de la primera campaña de muestreo con la normativa nacional.	64
Tabla 24: Comparación de parámetros de la segunda campaña de muestreo con la normativa nacional.	65
Tabla 25: Comparación de parámetros de la tercera campaña de muestreo con la normativa nacional.	66

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Descarga directa de aguas residuales domésticas al estero El Macho...	31
Ilustración 2: Niños arrojando residuos al estero El Macho.	31
Ilustración 3: Hacinamiento de residuos sólidos en el área de manglar.....	33
Ilustración 4: Puntos de muestreo en el estero El Macho.	42
Ilustración 5: Concentración de fosfatos a lo largo de los puntos de muestreo por campañas.	61
Ilustración 6: Concentración de nitratos a lo largo de los puntos de muestreo por campañas.	61
Ilustración 7: Concentración de coliformes fecales a lo largo de los puntos de muestreo por campañas.	62
Ilustración 8: Concentración de oxígeno disuelto a lo largo de los puntos de muestreo por campañas.	62
Ilustración 9: Concentraciones de oxígeno disuelto en puntos de muestreo durante época seca y lluviosa.	67
Ilustración 10: Concentraciones de DBO en puntos de muestreo durante época seca y lluviosa.	67
Ilustración 11: Valores de turbiedad en puntos de muestreo durante época seca y lluviosa.	68
Ilustración 12: Concentraciones de fosfatos en puntos de muestreo durante época seca y lluviosa.	68
Ilustración 13: Concentraciones de nitratos en puntos de muestreo durante época seca y lluviosa.	69
Ilustración 14: Curva de estimación del subíndice de nitratos.	102
Ilustración 15: Curva de estimación del subíndice de coliformes fecales.	102
Ilustración 16: Curva de estimación del subíndice de temperatura.	103
Ilustración 17: Curva de estimación del subíndice de oxígeno disuelto.	103
Ilustración 18: Curva de estimación del subíndice de sólidos totales.....	104
Ilustración 19: Curva de estimación del subíndice de DBO ₅	104
Ilustración 20: Curva de estimación del subíndice de pH.	105
Ilustración 21: Curva de estimación del subíndice de turbiedad.	105
Ilustración 22: Curva de estimación del subíndice de fosfatos.....	106
Ilustración 23: Uso de suelo del cantón Machala.....	107
Ilustración 24: Primer punto de muestreo.	108
Ilustración 25: Segundo punto de muestreo.	108



Ilustración 26: Tercer punto de muestreo.	109
Ilustración 27: Cuarto punto de muestreo.	109
Ilustración 28: Presencia de residuos sólidos en las riberas del estero.	110
Ilustración 29: Descarga de aguas residuales domésticas y quema de basura en el estero.	110
Ilustración 30: Lavadoras de vehículos en las riberas del estero.	111
Ilustración 31: Resultados de los análisis de laboratorio de la primera campaña de muestreo.	112
Ilustración 32: Resultados de los análisis de laboratorio de la segunda campaña de muestreo.	113
Ilustración 33: Resultados de los análisis de laboratorio de la tercera campaña de muestreo.	114

CLÁUSULAS



Universidad de Cuenca

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Alfaro André Andrade Mera en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “PLAN DE MANEJO PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DEL ESTERO EL MACHO, CANTÓN MACHALA”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, julio de 2018.



Alfaro André Andrade Mera
C.I. 1312781790



Universidad de Cuenca

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Wilman Vinicio Carrión Chamba en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “PLAN DE MANEJO PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DEL ESTERO EL MACHO, CANTÓN MACHALA”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, julio de 2018.



Wilman Vinicio Carrión Chamba
C.I. 0705363323



Universidad de Cuenca

Cláusula de Propiedad Intelectual

Alfaro André Andrade Mera, autor del trabajo de titulación “PLAN DE MANEJO PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DEL ESTERO EL MACHO, CANTÓN MACHALA”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, julio de 2018.

Alfaro André Andrade Mera

C.I. 1312781790



Universidad de Cuenca

Cláusula de Propiedad Intelectual

Wilman Vinicio Carrión Chamba, autor del trabajo de titulación “PLAN DE MANEJO PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DEL ESTERO EL MACHO, CANTÓN MACHALA”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, julio de 2018.

Wilman Vinicio Carrión Chamba
C.I. 0705363323



AGRADECIMIENTOS

Queremos darle las gracias a Dios, que nos ayudó a mantener la voluntad y actitud necesarias para superar los obstáculos que se presentaron la elaboración de este proyecto.

De igual manera, queremos agradecer de manera especial a nuestro director de tesis, el Ing. Juan Diego Espinoza Gárate por la permanente colaboración y guía durante el desarrollo del proyecto. Asimismo, a todos los docentes que impartieron sus conocimientos y experiencias para el correcto desarrollo del presente trabajo, entre ellos destacar al Blgo. Danilo Mejía y la Ing. María Eulalia Peñafiel.

Finalmente, agradecer a todos nuestros amigos y compañeros que nos ofrecieron sus consejos y puntos de vista, de suma importancia para mejorar la calidad de nuestro proyecto de titulación.



DEDICATORIAS

Primero, debo agradecer a Dios por permitirme una educación de calidad en Cuenca, una ciudad donde su gente me ha brindado una gran acogida y calidez. Igualmente, tengo que mostrar mi gratitud a mis maestros, quienes a lo largo de la carrera me han ofrecido sus conocimientos y experiencias, valiosos para mi vida profesional.

Extiendo también mi agradecimiento a todo el personal administrativo y de servicio de la universidad de Cuenca, responsables de construir la atmósfera adecuada para quienes estamos atravesando nuestro proceso de aprendizaje dentro de la vida universitaria.

Es importante para mí agradecer también a todo mi círculo social, con quienes he logrado aprender muchos aspectos de la vida que me resultan infinitamente valiosos.

Otorgo finalmente mi más grande agradecimiento a mi familia, sobre todo a mi madre, la cual estuvo junto a mí una importante parte de mi estancia en Cuenca y a mi padre, el cual me brindó todos sus consejos y apoyo.

A todos y cada uno de ustedes les agradezco y dedico este trabajo.

Alfaro André Andrade Mera.



En primer lugar, quiero dedicar este proyecto a Dios quien me ha brindado la gracia de la vida y me ha permitido una constante guía espiritual y fortaleza para el cumplimiento de mis propósitos.

De manera especial a mi mamá Nanci y a mi papá Tito, pues gracias a su amor, cariño y a la formación permanente en valores, principios y consejos me ha permitido culminar de forma exitosa este trabajo y me han dejado la herencia más preciada que puede permitírsele a un ser humano “La Educación”. Además, quiero dedicar este trabajo a mis hermanos Lenin, Oswaldo y Mabel quienes con su especial cariño y comprensión han sabido apoyarme incondicionalmente y de forma tan acertada a lo largo de mi formación personal, académica y durante el desarrollo de cada etapa del proyecto. A mi sobrino Santiago, quién a pesar de su corta edad ha dibujado una indeleble sonrisa en mi rostro.

A mis amigos quienes a lo largo de mi vida me han brindado una amistad desinteresada y me han ayudado a comprender y apreciar que cada momento vivido aporta un valor especial en la historia de nuestra vida.

Finalmente, quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a mis familiares que de alguna forma han contribuido en este proyecto con sus consejos, motivación y buenos deseos.

Wilman Vinicio Carrión Chamba

1. INTRODUCCIÓN

El agua es el líquido sobre el cual se fundamenta la vida en el planeta y ha constituido un componente clave para que se desarrolle la civilización en el aspecto social, cultural y de infraestructura. Lamentablemente, con el paso del tiempo, la mala gestión de este recurso ha reducido su calidad y cantidad, perjudicando todos los componentes ambientales con los que se interrelaciona (Shiva, 2003). De igual manera, el crecimiento demográfico e industrial ha provocado un agotamiento de los recursos naturales, afectando a los ecosistemas y generando repercusiones en el agua, principalmente en la hidrología continental (Alaña, Capa, & Sotomayor, 2017).

Una incorrecta gestión de las aguas residuales de zonas urbanas, industriales y agrícolas provoca que estas tengan la posibilidad de entrar en contacto con la población, causando enfermedades como cólera, disentería, hepatitis, tifoidea, etc., que pueden llevar a la muerte de los portadores. Así mismo, existen insectos que viven y se crían en este tipo de aguas y son portadores y/o transmisores de enfermedades como el dengue (World Health Organization, 2017). Cabe destacar que muchas de estas enfermedades son incapacitantes, es decir, originan una pérdida funcional en la vida cotidiana de las personas causando repercusiones en su calidad de vida y economía (Urbina et al., 2007).

Dados los evidentes problemas, muchas entidades locales e internacionales, ya sean públicas o privadas, han analizado el estado de los recursos hídricos a través de ciertos parámetros físico-químicos y biológicos, con los cuales se desarrollan Índices de Calidad, mismos que pueden ser interpretados de manera sencilla por los tomadores de decisiones para la aplicación de planes de recuperación, cuidado y/o uso del cuerpo de agua. El índice de mayor relevancia y más usado a nivel mundial es el elaborado por la "National Sanitation Foundation" (NSF) y, aunque no es específico para ciertas localidades o problemas ambientales, este proporciona información valiosa sobre la calidad del agua y permite la comparación con otros estudios (Samboni, Carvajal, & Escobar, 2007).

En Ecuador, el 70% de las ciudades no cuenta con un manejo adecuado de residuos sólidos, razón por la cual, la población arroja basura en los diferentes recursos hídricos del país (Gonzaga et al., 2017). Además, se estima que los cauces de agua por debajo de los 2000 metros sobre el nivel del mar se encuentran contaminados por diversas razones, entre las que se puede destacar el uso de sustancias químicas en



actividades agrícolas, la mala gestión del agua en las industrias y la ausencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales en las ciudades (Isch, 2011).

Ubicada en la provincia de El Oro, la ciudad de Machala es una urbe que en su periferia tiene bananeras y camaroneras que realizan descargas en los diferentes sistemas hídricos de la ciudad. Entre los principales cuerpos receptores de los efluentes se encuentra el estero El Macho, mismo que además recibe las descargas domésticas generadas por gran parte del cantón (Municipio de Machala, 2009). De igual manera, el manejo inadecuado de residuos sólidos intensifica los efectos perjudiciales en la salud de la población, la calidad del agua, sea superficial o subterránea; y los malos olores generados por su descomposición (GAD de Machala, 2011). Como consecuencia de estas y otras perturbaciones, frecuentes en el territorio nacional, el Ministerio del Ambiente creó el Programa de Reparación Ambiental y Social (PRAS) con la finalidad de brindar la atención necesaria a los problemas ambientales existentes (MAE, 2012).

El presente trabajo busca desarrollar un plan de manejo que contribuya a la recuperación ambiental del estero El Macho, basado en la metodología recomendada por el PRAS y usando como indicador del estado de conservación el Índice de la Calidad del Agua de la NSF.



1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Generar un plan de manejo para la recuperación ambiental del estero El Macho, en el cantón Machala.

1.1.2. Objetivos específicos

- Establecer la línea base de la zona de estudio analizando el estado de calidad de los compartimentos ambientales y sociales.
- Elaborar un diagnóstico ambiental para conocer el origen e impacto de las actividades que contaminan el estero.
- Presentar el Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) obtenido a través de los diferentes parámetros físico-químicos y microbiológicos, mismos que serán comparados con el TULSMA.
- Seleccionar las medidas adecuadas para la recuperación ambiental de los recursos involucrados en el área de estudio.

2. CONTENIDO TEÓRICO

2.1. Aspectos generales

2.1.1. Ambiente

Es el hábitat físico y biótico que nos rodea y en el que se desarrolla la vida. Todo aquello que podemos ver, oír, tocar, oler y saborear (Glynn, Heinke, & García, 1999). Hace referencia a la interacción de factores físico-naturales, culturales, estéticos y socio-económicos que involucran íntimamente al ser humano y las acciones que este realiza para la satisfacción de sus necesidades básicas y desarrollo; empleando al ambiente como la fuente principal de abastecimiento de recursos (V. Fernández, 2010).

2.1.2. Desarrollo sostenible

Es el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer el sustento de las futuras generaciones (Glynn et al., 1999). Generalmente, este término es asociado con modernización, crecimiento y estabilidad social. Es un concepto que, a más de tener un enfoque económico, busca mejorar la calidad de vida de los seres humanos a través del aprovechamiento de los recursos naturales aplicando medidas adecuadas de cuidado ambiental. En otras palabras, todas las definiciones referentes al desarrollo sostenible buscan equilibrar tres ejes fundamentales como son: equidad social, crecimiento económico y sustentabilidad ambiental (Espinoza, 2002).

América Latina, posee altos niveles de pobreza asociados a la gran dependencia de los recursos naturales. Por este motivo es necesario implementar planes y programas encaminados a evitar el deterioro ambiental a través de políticas ambientales articuladas al concepto del desarrollo sostenible (Espinoza, 2002).

2.1.3. Contaminación ambiental

La contaminación corresponde a un cambio no deseado del ambiente en las propiedades físicas, químicas o biológicas de los diferentes compartimentos ambientales (aire, agua y suelo) que puede afectar negativamente a la salud, supervivencia, actividades normales de los seres vivos, o alterar el equilibrio de los ecosistemas (Espinoza, 2002).

A nivel mundial, la explotación descontrolada y el inadecuado uso de los recursos genera problemas ambientales que se explican por el grado de complejidad que tienen los sistemas naturales con respecto a los económicos. Además, la contaminación de recursos hídricos, el cambio climático y la pérdida de biodiversidad son factores que agravan la situación actual del planeta (Espinoza, 2002).

Carlos Larrea (1996) en su documento “La geografía de la pobreza en el Ecuador”, menciona que el desarrollo social ha sido históricamente débil. Gran parte de la población es afectada por condiciones de extrema pobreza que impiden la satisfacción de las necesidades básicas de los seres humanos. En el litoral ecuatoriano es común observar construcciones en las márgenes de los esteros o canales que atraviesan una ciudad, originados en su mayoría por invasiones. Estos asentamientos ilegales aportan al deterioro de la calidad de los recursos hídricos, puesto que los desechos sólidos y efluentes generados son vertidos sin ningún control a los cuerpos de agua adyacentes.

Un claro ejemplo se vive en la ciudad de Machala, donde los asentamientos humanos que se encuentran en los alrededores del estero El Macho, generan problemas de contaminación ambiental debido a las descargas sólidas y líquidas de origen doméstico, comercial y productivo (sector bananero y camaronero). Por este motivo el recurso agua se contamina afectando especies de peces, aves, mamíferos y las condiciones de salud de los seres humanos (Maldonado, 2016).

2.1.4. Plan de recuperación ambiental

Es un documento que presenta objetivos y herramientas para reparar un daño ambiental que haya sido ocasionado y demostrado por un estudio técnico ambiental (Pica, 2014). La recuperación ecológica consiste en la restauración, tanto técnica como ética, de los diferentes compartimentos ambientales que hayan sido afectados, con la finalidad de devolverlos, en lo mayor posible, a sus condiciones iniciales. Este plan debe involucrar aspectos sociales, económicos y ecológicos como ejes fundamentales para la aplicabilidad y sostenibilidad de los proyectos de recuperación (Higgs, 1997).

2.2. Índices de Calidad del Agua

Los Índices de Calidad del Agua (ICA) son una expresión simple, un número, rango, descripción, símbolo o incluso color, que expresa la calidad del recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros de calidad del

agua. Su uso es cada vez más popular para identificar las tendencias en los cambios de la calidad del agua y como una herramienta simple para la evaluación en procesos decisorios de políticas públicas y en el seguimiento de impactos ambientales (Torres, Hernán, & Patiño, 2009).

El ICA-NSF es una metodología que fue desarrollada en 1970 por la National Sanitation Foundation mediante el uso de la técnica de investigación Delphi. Es un índice multiparámetro que considera las siguientes variables para la determinación de la calidad de un cuerpo de agua a través del tiempo: temperatura, pH, demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, turbiedad, nitratos, fosfatos, sólidos totales y coliformes fecales (Samboni et al., 2007).

La fórmula usada para el cálculo del Índice de Calidad del Agua considera los valores de importancia asignados a cada parámetro de acuerdo al uso del agua y al riesgo que represente el incremento o disminución de la concentración de cada variable (Samboni et al., 2007).

Para el cálculo del Índice de Calidad de Agua, la metodología NSF presenta un ICA aditivo o multiplicativo en donde el resultado de su uso debe establecer un número entre 0 y 100; así, un valor cercano o igual a 0 indica un alto grado de contaminación mientras que el 100 representa un excelente estado de calidad del agua (N. Fernández & Solano, 2005).

2.3. Parámetros de calidad del agua

El término calidad del agua se encuentra sometido a innumerables interpretaciones que dependen del uso de la misma para el desarrollo de diferentes actividades. Sin embargo, a nivel más general, la calidad del agua se encuentra relacionada a su uso para el consumo humano de acuerdo a las condiciones en que se encuentran los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de tal manera que no cause daños a la salud (López, 2015).

2.3.1. Parámetros Físicos

2.3.1.1. Temperatura

Es un factor abiótico encargado de regular los procesos vitales de organismos vivos. Indica la existencia de un gradiente de energía que ocasiona la transferencia de calor en un ecosistema pudiendo alterar las propiedades físico-químicas de otros factores abióticos que se desarrollan en el mismo (F. Hernández, Nolasco, & Salguero, 2016).

Las variaciones de este parámetro se originan por los cambios de la temperatura ambiente presentes en las diferentes estaciones del año (A. Fernández, 2012). Las fluctuaciones de temperatura provocan una serie de alteraciones en los procesos que se generan en ecosistemas acuáticos, afectan las condiciones de velocidad de reacciones químicas y solubilidad de gases disueltos e incluso pueden alterar el potencial tóxico de algunas sustancias diluidas en el agua (Sierra, 2011).

2.3.1.2. Turbiedad

Es un parámetro que indica la existencia de sólidos coloidales, de origen orgánico e inorgánico. Se origina de fenómenos asociados a la erosión y transporte de materia coloidal, descargas de aguas residuales domésticas e industriales y aportes de fibras vegetales (A. Fernández, 2012).

Actualmente, los turbidímetros fundamentados en principios nefelométricos son los instrumentos encargados de medir la turbiedad y registrarla en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU). La sustancia tomada como referencia para la medida es una mezcla de hexametiltetramina y sulfato de hidrazina (Sierra, 2011).

Su presencia en un cuerpo de agua disminuye la obtención de oxígeno producido por fotosíntesis, obstaculiza procesos de desinfección, limita los usos del agua e indica un deterioro estético del mismo (Sierra, 2011).

2.3.2. Parámetros Químicos

2.3.2.1. Potencial de hidrógeno

El potencial de hidrógeno (pH), es un indicador de las condiciones de acidez o basicidad de una sustancia y se determina por la cantidad de iones libres de hidrógeno (H^+) (F. Hernández et al., 2016). Este parámetro puede ser medido con la ayuda de un (pHmetro), que es un instrumento electrónico de precisión que facilita el proceso de medición ya sea en condiciones de campo o laboratorio (Sierra, 2011).

De acuerdo al grado de acidez o alcalinidad que presente el agua se originan cambios en la flora y fauna de la misma. Concentraciones altas o bajas de iones de hidrógeno pueden alterar el equilibrio de ciertos compuestos químicos favoreciendo la movilización de contaminantes; por ejemplo, a niveles bajos de pH, metales como: hierro, níquel, cobre, zinc, cadmio, plomo, entre otros; aumentan su solubilidad dando lugar al incremento de la toxicidad del agua. Por el contrario, un valor comprendido entre 6 y 9 permite el desarrollo adecuado de invertebrados y peces de agua dulce (M. S. Carrillo & Urgilés, 2016).

2.3.2.2. *Demanda Bioquímica de Oxígeno*

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno empleada por los microorganismos (principalmente bacterias) para oxidar, degradar o estabilizar la materia orgánica de origen nitrogenado y carbónico (Mihelcic & Zimmerman, 2011).

La DBO₅ es la prueba más utilizada para conocer el proceso de estabilización de la materia orgánica. Consiste en la cantidad de oxígeno consumida por los microorganismos en cinco días para luego extrapolar los resultados a un período de 20 días utilizando ecuaciones de cinética bacteriana y permitiendo obtener los resultados de forma rápida. Las unidades en que se presentan los resultados corresponden a mg/l de oxígeno consumido (Sierra, 2011).

La determinación experimental de DBO₅ evalúa la concentración de oxígeno disuelto que presenta una muestra de agua sellada en condiciones de oscuridad y temperatura constante (generalmente 20 o 25 °C), esta medida se realiza durante el comienzo y final de un período de cinco días (A. Fernández, 2012).

2.3.2.3. *Nitratos*

Son la forma más oxidada del nitrógeno cuyo origen es la descomposición de sustancias orgánicas nitrogenadas. Las concentraciones de nitratos se relacionan con las actividades que se desarrollan en zonas cercanas a los cuerpos de agua. Así, las concentraciones superiores a 5 mg/l indican una contaminación por desechos domésticos, desechos de animales y escorrentía superficial. En aguas superficiales afectadas por actividades antrópicas se presentan concentraciones de 1 mg/l que pueden llegar hasta 5 mg/l (Sierra, 2011).

En embalses y lagos se desarrollan procesos de eutrofización cuando las concentraciones de nitratos son superiores a 0.2 mg/l. Los efluentes de aguas residuales pueden presentar concentraciones que varían entre 0 y 20 mg/l (Sierra, 2011).

2.3.2.4. *Fosfatos*

El fósforo, al igual que el nitrógeno, es uno de los nutrientes esenciales de los seres vivos y es particularmente indispensable para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Es normalmente usado como indicador de presencia de detergentes fosfatados (Aznar, 2000).

El fósforo llega a los cuerpos de agua superficial a través de efluentes municipales y agrícolas, que recolectan residuos derivados del uso de detergentes sintéticos (Sierra,



2011) y abonos fosfatados respectivamente (Aznar, 2000). La industria, aunque en menor proporción, también es una fuente de aporte de fósforo (A. Fernández, 2012).

Su determinación se realiza mediante espectrofotometría, previo a la degradación de los polifosfatos (componentes de los detergentes) para su medición como fósforo (Aznar, 2000).

El principal efecto del fósforo es que a niveles críticos, es decir, superior a 0.01 mg/l, causa eutrofización en el agua, fenómeno que provoca un crecimiento acelerado de biomasa acuática (plantas y algas) disminuyendo la cantidad de oxígeno disuelto y causando malos olores, sobre todo en fuentes lénticas (Sierra, 2011).

2.3.2.5. Sólidos Totales

Los sólidos totales (ST) son todo aquello existente en una muestra que no corresponda a agua, es decir, son todos los materiales que resultan después de evaporar el agua a 105 °C. Estos se dividen en sólidos suspendidos y sólidos disueltos, siendo estos últimos los que se encuentran normalmente en mayor cantidad (Sierra, 2011).

Los ST tienen procedencia principalmente de fuentes domésticas, industriales y por la erosión del suelo. Entre los impactos principales se encuentran los taponamientos a sistemas de riego, protección de microorganismos de agentes desinfectantes, problemas estéticos, afección de organismos que dependen del paso de la luz solar, adsorción de contaminantes, etc. (Sierra, 2011).

2.3.2.6. Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto (OD) es un componente indispensable para la subsistencia balanceada de todos los organismos que se encuentren asociados, en equilibrio, a un ecosistema acuático, es decir, ríos, lagos, océanos, etc. (Mihelcic & Zimmerman, 2011).

Es uno de los factores más importantes para el desarrollo y reproducción de una población de organismos acuáticos, por lo que es considerado un indicador de presencia de vida en un recurso hídrico. La determinación de su concentración es una prueba muy simple pero importante y debe ser realizada in situ mediante un oxímetro (Sierra, 2011).

La cantidad de oxígeno disuelto en el agua se debe al aporte generado por la atmósfera cuando entra en contacto con la superficie del agua y es agotado para la

descomposición de la materia orgánica proveniente de desechos industriales y domésticos que son descargados sin un tratamiento previo (Mihelcic & Zimmerman, 2011).

Al caer a niveles inferiores a 4 o 5 mg/l de oxígeno disuelto, el agua empieza a desarrollar condiciones anaeróbicas causando una pérdida de biodiversidad, estética negativa, malos olores y una elevada turbidez (Mihelcic & Zimmerman, 2011).

2.3.3. Parámetros Microbiológicos

2.3.3.1. Coliformes Fecales

Las coliformes fecales pertenecen al grupo de los coliformes totales y se caracterizan por ser bacilos gram-negativos no esporulados con la capacidad de fermentar la lactosa a $44.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ dentro de 24 ± 2 horas y producir gas y ácido (Vargas de Mayo, 1983).

La especie con mayor predominancia dentro del grupo de coliformes fecales, y por ende, dentro de la contaminación fecal es la *Escherichia coli* (A. Fernández, 2012) por lo que se puede aceptar como un adecuado sustituto en la detección de coliformes termotolerantes (fecales) (OMS, 2006). Las coliformes fecales se usan como indicadores de la contaminación del agua debido a que estas normalmente no se reproducen fuera del intestino (Vargas de Mayo, 1983) y porque representan un riesgo potencial de contaminación al provenir de las heces de los seres humanos y animales homeotermos (Sierra, 2011).

Una de las metodologías aplicables para la determinación de las coliformes fecales es la del número más probable (NMP) que se fundamenta en la capacidad de las coliformes de producir gas en un medio con lactosa (UNAM, 2008).

Los efectos que pueden causar las coliformes fecales, principalmente la *Escherichia coli*, varían de acuerdo al tipo de cepa, a la dosis infectiva y a la susceptibilidad del individuo. La principal consecuencia asociada a estos microorganismos son las enfermedades diarreicas. Estas infecciones son frecuentes en países en vías de desarrollo y son adquiridas por el consumo de agua y alimentos contaminados con esta bacteria (UNAM, 2008).

2.4. Alteración de la calidad del agua

2.4.1. Contaminantes del agua

Son todos aquellos componentes que desvinculen al agua de sus propiedades originales. El agua que se ha utilizado previamente en un proceso y ha sido devuelta a los cauces naturales se encuentra contaminada en cierto modo. Por ejemplo, el retorno de aguas municipales lleva consigo detergentes, desechos humanos; los efluentes agrícolas transportan sales, pesticidas y fertilizantes; las centrales de generación eléctrica descargan el agua que utilizan con temperaturas elevadas; mientras que el sector industrial aporta con contaminantes de origen químico y orgánico (Masters & Ela, 2008).

2.4.2. Residuos sólidos

Son desperdicios insolubles en el agua provenientes de la elaboración, transformación y uso de bienes de consumo en las actividades humanas (Vesilind, Worrell, & Reinhart, 2002). El constante incremento de residuos sólidos urbanos asociados al crecimiento de la población causa graves problemas ambientales, puesto que su incorrecta disposición incorpora elementos extraños en el medio, especialmente en el recurso agua (Huang, Yu, Lin, & Ye, 2016).

2.4.3. Aguas residuales

Son aguas de composición variada provenientes del uso doméstico, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de otra actividad, que haya sufrido degradación en su calidad original (TULSMA, 2011).

2.4.3.1. Aguas residuales domésticas

El agua residual de origen doméstico está constituida por la mezcla de desechos líquidos evacuados de residencias, espacios públicos, centros comerciales, instituciones educativas, etc., cuya carga contaminante involucra altos porcentajes de microorganismos, sólidos en suspensión y materia orgánica en forma soluble o coloidal (Chalarca, Mejía, & Aguirre, 2007).

2.4.3.2. Aguas residuales industriales

El agua residual industrial es aquella que se genera fundamentalmente en industrias de procesamiento, enfriamiento y generación de vapor. Existen pocas industrias que realizan un uso exclusivo del agua, siendo procesos como el transporte y lavado los más comunes, mismos que alteran las características físico-químicas y microbiológicas del agua para usos posteriores (Corona, 1976).

2.5. Línea base del estero El Macho

2.5.1. Antecedentes

El estero El Macho se construyó con el objetivo de captar agua del río Jubones para riego de las zonas bananeras y cacaoteras (Maldonado, 2016). A partir de la década de los 60, la ciudad de Machala experimentó un crecimiento demográfico acelerado por el ingreso de personas provenientes de diversas provincias del Ecuador, atraídas por las ofertas de empleo ofrecidas en la producción de banano y camarón, productos de exportación que se encontraban en auge en aquella época (López, 2015).

La creciente demanda que se produjo en el sector de la vivienda se encontró en contraste con la escasez de territorios habitables debido a los nulos estudios de planificación territorial, convirtiendo a las invasiones en el modelo común de crecimiento desorganizado de la ciudad (Ramírez, 2017).

2.5.2. Aspectos generales

2.5.2.1. Ubicación y longitud

Se encuentra ubicado en la zona norte del cantón Machala, sus aguas circulan en dirección Este-Oeste recorriendo una extensión aproximada de 12 Km y atravesando algunas zonas pobladas como: Vía la ferroviaria, Ciudadela 24 de Septiembre, barrio Rayito de Luz, Circunvalación Norte, barrio Los Vergeles, Sauces y Algarrobos, entre otros; mismos que aportan aguas de origen doméstico (Armijos, 2010).

2.5.2.2. Climatología

La clasificación de climas propuesta por el Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en la Cooperación (ORSTOM), indica que el cantón Machala presenta dos tipos de clima: tropical megatérmico semi árido (TMSA) y tropical megatérmico seco (TMS), siendo predominante el último (GAD de Machala, 2011).

Durante los meses de junio a diciembre (temporada seca) la temperatura oscila entre 23 °C y 25 °C; mientras que en la temporada lluviosa, correspondiente a los meses de enero a mayo, la temperatura alcanza valores promedios mensuales que van de 26 °C a 28 °C (Asanza, 2016), llegando a valores extremos de 21 °C y 34 °C, respectivamente. Además, los valores de precipitación anuales se encuentran entre 500 a 750 mm, mientras que los porcentajes de humedad relativa oscilan entre el 64 y 87% (Ramírez, 2017).

2.5.2.3. Geología

La zona de estudio y de manera general el cantón Machala se encuentra conformado por la formación geológica correspondiente a arcillas marinas de estuario, que debido a su riqueza en nutrientes presenta condiciones naturales favorables para el desarrollo de manglar y vegetación riparia. En contraste con lo antes mencionado, la potencialidad de los suelos para el desarrollo de actividades de producción de banano, cacao y camarón ha sido la principal causa del reemplazo de la vegetación nativa y los problemas asociados a la protección de la biodiversidad (Asanza, 2016).

2.5.2.4. Hidrografía

El cantón Machala está constituido por tres cuencas hidrográficas de la cuales el río Jubones se encuentra ubicado en la parte norte, el río Motuche en el centro y en el sur el río Buenavista. La cuenca del río Jubones es una de las más importantes debido a que el agua que transporta es utilizada para el desarrollo de actividades domésticas, agrícolas e industriales, y es la fuente que abastece de agua al estero El Macho (Ramírez, 2017).

2.5.2.5. Uso de suelo

El cantón Machala posee como unidades taxonómicas dominantes al Entisol e Inceptisol, así, gran parte del suelo del área de estudio es ocupado para el desarrollo de actividades de origen agrícola y acuícola representadas principalmente por el establecimiento de cultivos de banano y piscinas camaroneras, las mismas que ocupan un 43.9% y 23.8% del territorio cantonal respectivamente. Además, el suelo urbano se usa para el desarrollo de actividades de índole residencial, industrial, comercial, social, institucional y de recreación (GAD de Machala, 2011).

El desarrollo de las actividades antes mencionadas ha perjudicado a El Macho por el intenso uso del suelo para monocultivos y sustitución de áreas de manglar por camaroneras, lo que ha provocado la reducción significativa de su calidad por el desgaste, pérdida de fertilidad y degradación química. Además, el establecimiento de viviendas en zonas de alto riesgo ha incrementado los conflictos por la incompatibilidad de su uso (Asanza, 2016).

2.5.3. Aspectos sociales

2.5.3.1. Componente socio-cultural

Aproximadamente 3660 personas habitan en condiciones de pobreza y extrema pobreza en zonas directamente relacionadas al estero El Macho, siendo un grupo altamente vulnerable a condiciones de degradación sistémica en el ámbito social, económico, ambiental, urbano y cultural, debido a que en el estero se descarga el 62%

de las aguas residuales (sin tratamiento) de la ciudad de Machala (GAD de Machala, 2018).

Todas estas condiciones generan problemas en la salud de la población, siendo las infecciones intestinales y urinarias las causas de morbilidad más comunes registradas en centros de salud (Rayito de Luz y El Aguador) ubicados en las cercanías del estero (Maldonado, 2016).

Es necesario especificar que las condiciones de asentamiento de esta población representan un problema político-administrativo, dado que no existe una entidad social que los represente. Además, expone un problema económico-productivo por la permanente demanda de recursos generada por su estado de degradación (GAD de Machala, 2018).

2.5.3.2. Componente físico-espacial

Los asentamientos irregulares en las riberas del estero El Macho están sometidos a un constante riesgo debido a la inexistencia de planificación e inseguridad jurídica en la posesión del suelo; lo que involucra condiciones inseguras de vida como: construcciones inestables, hacinamiento y déficit de servicios básicos; todo esto se traduce en la reducción de la calidad de vida de la población por el incremento del índice de enfermedades (GAD de Machala, 2018).

2.6. Diagnóstico ambiental

2.6.1. Calidad del agua

El agua es el compartimento más afectado en el estero El Macho debido a la falta de una planta de tratamiento que depure previamente las descargas, en su mayoría de origen doméstico. De igual manera, al no existir un sistema de alcantarillado para la recolección de las aguas servidas, las viviendas existentes en las riberas encuentran más sencillo realizar sus descargas directamente al estero a través de tubos de policloruro de vinilo (PVC) como se aprecia en la siguiente ilustración:



*Ilustración 1: Descarga directa de aguas residuales domésticas al estero El Macho.
Fuente: Los autores.*

De igual manera, una deficiente gestión en la recolección de los residuos sólidos en esta zona provoca que las personas, incluyendo menores de edad, arrojen sus residuos al estero (véase Ilustración 2).



*Ilustración 2: Niños arrojando residuos al estero El Macho.
Fuente: Los autores.*

Estas carencias, además de causar daños en los manglares y la biodiversidad marina (y por ende los alimentos de la población), generan un ambiente hostil y discriminatorio que influye social, económica y ambientalmente en la calidad de vida de estos asentamientos (Lalangui & Palas, 2018).

2.6.1.1. Descargas al estero El Macho

El estero El Macho recibe múltiples descargas provenientes de sectores suburbanos y urbanos de la ciudad de Machala. El canal El Limón, correspondiente a la desviación de El Macho, recepta aguas de origen industrial de la Cartonera Andina, descargas provenientes del relleno controlado que se encuentra ubicado en el barrio 16 de Marzo y descargas directas de las viviendas que se encuentran desde la vía Machala–Guabo hasta los predios de la planta asfaltadora municipal, donde se reconecta con El Macho (López, 2015).

Desde la planta asfaltadora hasta la avenida Circunvalación Norte, el estero atraviesa los barrios: Los Vergeles, Viviendas Populares, Algarrobos, Justicia Popular, Israel, La Unión, Aguador, 10 de Julio, Sauces, Dos Bocas, entre otros; en los que recibe descargas residuales domésticas con tuberías de PVC de 4-6 pulgadas (López, 2015).

Al estero también se descarga aguas servidas de la parroquia El Cambio, desechos líquidos de una empresa empacadora de camarón, aguas de drenaje agrícola y aportes de desechos líquidos y sólidos del estero natural llamado El Pechiche, el cual previamente recibe descargas de aguas servidas de los barrios ubicados en el sector noroeste de la ciudad. Posteriormente, el canal se dirige hasta el balneario El Coco, en donde antes de su entrada se divide en dos ramales que se dirigen hacia el estero Salinas y el mar, respectivamente (López, 2015).

2.6.1.2. Medio marino

Los mares y océanos, al contener más del 90% de la diversidad biológica, constituyen un invaluable patrimonio natural para la humanidad. Así mismo, representan los verdaderos pulmones de la tierra al captar las emisiones de carbono y tener una función importante en las condiciones climáticas. Desafortunadamente, estos recursos cada vez se ven más afectados por su uso intensivo (pesca, transporte, extracción de recursos, etc.) y contaminación (derrame de combustibles, introducción de especies, destrucción de ecosistemas, ruido, descargas de aguas residuales sin tratamiento, etc.) (Ortiz, 2011).

En las zonas costeras, en los puntos de mezcla entre el agua dulce y salada se forman los estuarios (Cabrera, 1975), ecosistemas que se caracterizan por ser de los más

productivos del mundo debido a la importante cantidad de nutrientes, materia orgánica y sedimentos aportados por las aguas continentales (Stuardo & Valdovinos, 1989). De esta manera se convierten en recursos de gran importancia para actividades recreacionales, de navegación y pesca (Cabrera, 1975).

Por otro lado, existen actividades humanas que producen intensos procesos de sedimentación como la tala de bosques, construcción de infraestructuras, descargas industriales, domésticas, etc. Todas estas actividades se traducen en extensas barreras de sedimentos que impiden la adecuada interacción entre el agua dulce y salada y demuestran la fragilidad de estos ecosistemas ante las dinámicas humanas (Stuardo & Valdovinos, 1989).

En la ciudad de Machala, el punto de desembocadura al mar del estero El Macho cumple con las características típicas de un estuario. En este punto, los residuos sólidos que flotan en el agua o que se acumulan entre la vegetación y en el suelo son de las causas más notorias de contaminación (véase Ilustración 3).



*Ilustración 3: Hacinamiento de residuos sólidos en el área de manglar.
Fuente: Los autores.*

2.6.2. Calidad del aire

El aire en las zonas aledañas al estero El Macho se ve principalmente afectado por los malos olores generados por las descargas domésticas vertidas al cuerpo de agua,

además de la descomposición de los residuos sólidos que se acumulan en las riberas del estero. De igual manera, en algunos sectores del estero se produce la quema de residuos por parte de ciertos moradores, así como el levantamiento de polvo por vehículos en vías no pavimentadas.

Es importante mencionar que a 30 metros del estero, en el barrio Rayito de Luz, se encuentra emplazada la planta de asfalto municipal de la ciudad de Machala, misma que aporta partículas de polvo y gases de combustión por su operación (Consortio Neoambiente, 2006).

2.6.3. Calidad del suelo

El suelo en la zona de estudio se encuentra intervenido de forma antrópica por el establecimiento de vías, camaroneras, cultivos agrícolas y la construcción de viviendas frente al estero; de las cuales un 44% se encuentran cercanas al espejo de agua (<5 m). Este factor representa un elevado riesgo puesto que del total de viviendas existentes en las orillas del estero, el 91% posee una construcción de mala calidad y el 98% de construcciones tienen una sola planta lo cual favorece el uso extensivo del suelo, incrementando las consecuencias de carácter negativo en la calidad de la cobertura vegetal adyacente al área de estudio (GAD de Machala, 2018).

2.6.4. Biodiversidad

Para conocer el estado actual de biodiversidad con respecto a la zona de estudio se realizó una revisión bibliográfica. Ramírez (2017) en su estudio denominado “Determinación de cadmio y plomo en agua y sedimento del estero El Macho”, detalla las siguientes especies:

2.6.4.1. Flora:

Tabla 1: Especies de flora en el área de estudio.

Nombre común	Nombre científico
Mangle Blanco	<i>Laguncularia racemosa</i>
Mangle Negro	<i>Avicennia germinans</i>
Mangle Rojo	<i>Rhizophora mangle</i>

Fuente: Ramírez, 2017.

2.6.4.2. Fauna:

Tabla 2: Especies de fauna en el área de estudio.

Nombre común	Nombre científico
Iguana verde	<i>Iguana iguana</i>
Garza blanca	<i>Ardea alba</i>



Ibis blanco	<i>Eudocimus albus</i>
Perro	<i>Canis lupus familiaris</i>
Gato	<i>Felis silvestris catus</i>
Gallinazo negro	<i>Coragyps atratus</i>
Gallinazo cabecirroja	<i>Cathartes aura</i>
Gaviota	<i>Sterna hirundo</i>
Concha prieta	<i>Anadara tuberculosa</i>
Camarón patiblanco	<i>Litopenaeus vannamei</i>
Cangrejo rojo	<i>Ucides occidentalis</i>

Fuente: Ramírez, 2017.

2.6.5. Importancia de remediación del estero

En la actualidad, las características del estero El Macho generan un sentimiento de rechazo por parte de la población, debido a que constituye una fuente de enfermedades, malos olores y de insectos vectores que afectan la estética de la ciudad y la calidad de vida de la ciudadanía. Estos problemas se intensifican aún más en épocas lluviosas, donde se generan fuertes inundaciones y la población entra en contacto directo con las aguas contaminadas del estero.

Un adecuado plan de manejo para la recuperación ambiental del estero El Macho favorecerá la corrección de los problemas anteriormente mencionados y elevará el sentimiento de pertenencia de la población machaleña.

3. METODOLOGÍA

3.1. Plan de manejo para recuperación ambiental

El Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) en el 2008 creó el Programa de Reparación Ambiental y Social (PRAS), el cual promueve la reparación integral de pasivos socio-ambientales para revertir las afecciones en los territorios contaminados (MAE, 2012).

El PRAS presenta los siguientes aspectos básicos que se deben detallar al momento de realizar un estudio:

- Zona de estudio y Diagnóstico: Estas características se detallaron previamente en el marco teórico del presente trabajo, en los apartados de línea base y diagnóstico ambiental.
- Evaluación de impactos ambientales: Se utilizará la metodología propuesta por Fernández y Conesa en su libro “Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental”.
- Estado de conservación: Se detalla la condición actual del ecosistema mediante el uso de indicadores, en este caso, se utilizó el ICA-NSF posterior a la determinación de los respectivos puntos de muestreo.
- Plan de acción y seguimiento: Plan en el que se deben detallar las medidas recomendadas para la recuperación de la calidad de los diferentes compartimentos ambientales y su respectivo monitoreo y control (Programa de Reparación Ambiental y Social, 2018).

3.2. Evaluación de impactos ambientales

El desarrollo de actividades domésticas, comerciales e industriales da lugar a una serie de alteraciones desfavorables que, de forma directa o indirecta, afectan distintos componentes del estero El Macho. En efecto, la generación de una matriz de importancia nos va a permitir priorizar los impactos de mayor relevancia para plantear medidas correctoras frente a los problemas ambientales determinados y permitirá visualizar una relación entre los impactos existentes y los valores obtenidos en el Índice de Calidad del Agua.

3.2.1. Matriz de importancia

La matriz de importancia, propuesta en 1997 por Vicente Conesa Fernández, es una metodología en la que se le asigna analíticamente un valor de importancia a todos los

impactos ambientales de una o varias actividades. A través de esta valorización se pueden resaltar las acciones más perjudiciales y el compartimento más afectado (V. Fernández, 2010).

3.2.2. Importancia del impacto ambiental

Se define como la importancia del efecto de una acción sobre determinado factor ambiental (Florida, 2015), en función del valor atribuido a cada símbolo considerado en la siguiente fórmula:

$$I = N(\pm) [3 IN + 2 EX + MO + PE + SI + PR + AC + EF + RV + MC]$$

La clasificación de impactos viene dada de acuerdo a los valores de importancia establecidos en la siguiente clasificación:

Tabla 3: Rangos de clasificación de acuerdo a la importancia del impacto.

Rango de la importancia	Categoría
Inferior a 25	Irrelevante
25-50	Moderado
51-75	Severo
Superior a 75	Crítico

Fuente: V. Fernández, 2010.

La Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental presenta los siguientes símbolos para la valoración cualitativa del impacto ambiental:

- *Naturaleza o Carácter (N)*

Puede ser positiva o negativa de acuerdo al carácter beneficioso o perjudicial que presente el factor ambiental involucrado considerando el aumento o disminución de la calidad ambiental.

- *Intensidad (IN)*

Hace referencia al grado de incidencia que ejerce la acción sobre el factor ambiental en el que actúa. La valoración de la intensidad del impacto se encuentra en un rango comprendido entre 1 y 12, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 4: Rangos de clasificación de acuerdo a la intensidad del impacto.

Rango	Calificación
Intensidad baja o mínima	1
Intensidad media	2
Intensidad alta	4
Intensidad notable o muy alta	8
Intensidad en grado total	12

Fuente: V. Fernández, 2010.

- **Extensión (EX)**

Indica el área de influencia del impacto con respecto al entorno.

Tabla 5: Rangos de clasificación de acuerdo a la extensión del impacto.

Rango	Calificación
Puntual	1
Parcial	2
Extenso	4
Total	8

Fuente: V. Fernández, 2010.

- **Momento (MO)**

También conocido como plazo de manifestación del impacto y significa el tiempo que transcurre desde la aparición de la acción hasta el inicio del efecto sobre el factor ambiental involucrado. El rango de momento del impacto se detalla a continuación:

Tabla 6: Rangos de clasificación de acuerdo al momento del impacto.

Rango (t=años)	Calificación
Largo plazo ($t > 5$)	1
Mediano plazo ($5 > t > 1$)	2
Corto plazo ($t < 1$)	4
Inmediato ($t = 0$)	4

Fuente: V. Fernández, 2010.

- *Persistencia o duración (PE)*

Se refiere al tiempo en que el factor ambiental afectado regresaría a sus condiciones iniciales desde la aparición del efecto considerando la acción de medios naturales o medidas correctoras.

Tabla 7: Rangos de clasificación de acuerdo a la persistencia del impacto.

Rango (t=años)	Calificación
Fugaz ($t < 1$)	1
Temporal ($10 > t > 1$)	2
Persistente ($t > 10$)	4

Fuente: V. Fernández, 2010.

- *Sinergia (SI)*

Es la dependencia recíproca entre dos o más efectos simples que representa la expresión total de acciones que actúan de forma simultánea y cuyo efecto es mayor al que produce cada acción de manera independiente.

Tabla 8: Rangos de clasificación de acuerdo a la sinergia del impacto.

Rango	Calificación
No sinérgico	1
Sinergismo moderado	2
Altamente sinérgico	4

Fuente: V. Fernández, 2010.

- *Periodicidad (PR)*

Representa la regularidad de manifestación del efecto. El rango en que se presenta la periodicidad es el siguiente:

Tabla 9: Rangos de clasificación de acuerdo a la periodicidad del impacto.

Rango	Calificación
Irregular	1
Periódico	2
Continuo	4

Fuente: V. Fernández, 2010.

- *Acumulación (AC)*

Es el aumento progresivo del efecto cuando perdura de manera continua la acción que lo genera.

Tabla 10: Rangos de clasificación de acuerdo a la acumulación del impacto.

Rango	Calificación
Simple	1
Acumulativo	4

Fuente: V. Fernández, 2010.

- *Efecto (EF)*

Indica la relación causa-efecto que existe entre la manifestación del efecto sobre un factor ambiental a causa del desarrollo de una acción específica.

Tabla 11: Rangos de clasificación de acuerdo al efecto del impacto.

Rango	Calificación
Indirecto	1
Directo	4

Fuente: V. Fernández, 2010.

- *Reversibilidad (RV)*

Es la posibilidad de restauración del factor ambiental afectado, considera la capacidad de retornar a las condiciones iniciales a través de medios naturales luego de que las acciones agresivas ejecutadas dejan de actuar sobre el medio intervenido. El rango de reversibilidad es el siguiente:

Tabla 12: Rangos de clasificación de acuerdo a la reversibilidad del impacto.

Rango (t=años)	Calificación
Corto plazo ($t < 1$)	1
Mediano y/o largo plazo ($10 > t > 1$)	2
Irreversible ($t > 10$)	4

Fuente: V. Fernández, 2010.

- *Recuperabilidad (MC)*

Hace referencia a la posibilidad de recuperación, parcial o total, del factor ambiental afectado, es decir, regresar a las condiciones iniciales previas a la

acción perturbadora mediante intervención humana a través de medidas de corrección.

Tabla 13: Rangos de clasificación de acuerdo a la recuperabilidad del ambiente.

Rango		Calificación
Totalmente recuperable	Inmediato	1
	Mediano plazo	2
Parcialmente recuperable (medidas compensatorias)		4
Irrecuperable (naturalmente o con intervención humana)		8

Fuente: V. Fernández, 2010.

3.3. Estado de conservación

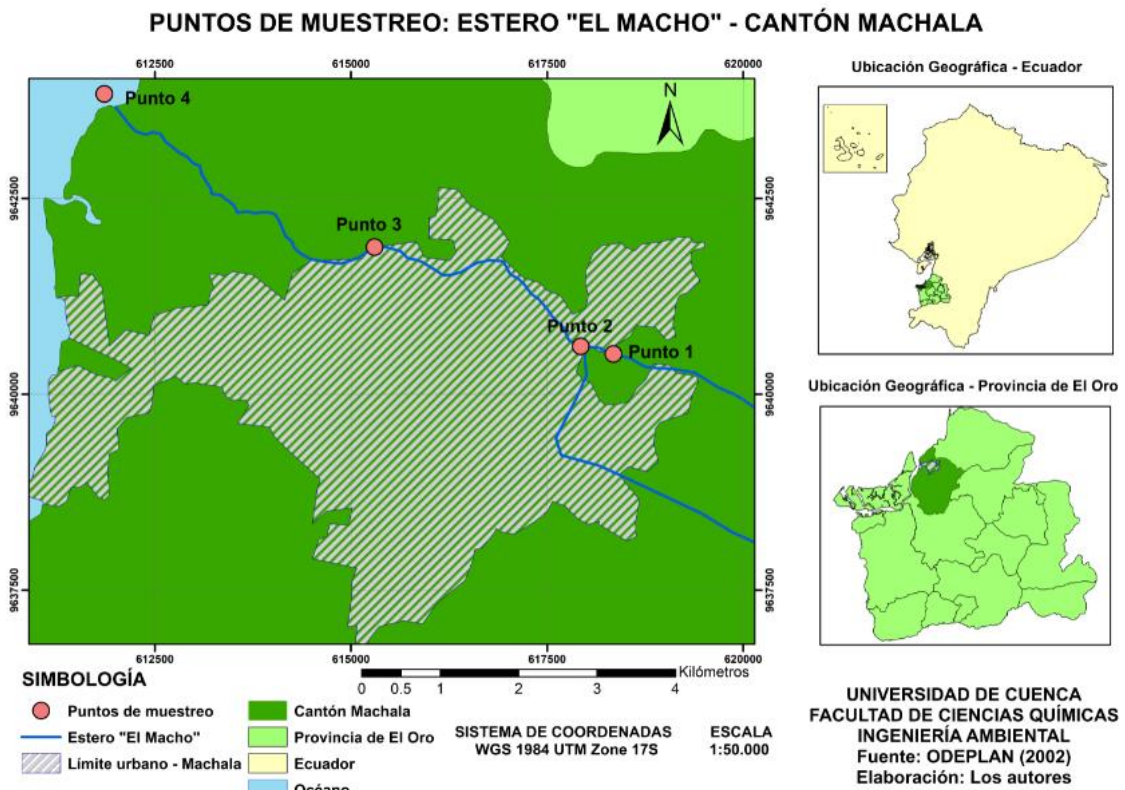
3.3.1. Puntos de muestreo

Se determinaron cuatro puntos para la toma de muestras a lo largo estero. Por cada una de las campañas de muestreo ejecutadas se tomó de cada sitio una única muestra. Los datos de dichos puntos se detallan en la tabla y mapa a continuación:

Tabla 14: Dirección y coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.

Zona de muestreo	Características de uso de suelo	Dirección	Coordenadas geográficas	
			Latitud	Longitud
Punto # 1	Ingreso al centro poblado	Barrio Rayito de Luz	-3.257823	-79.927132
Punto # 2	Centro poblado	Planta asfaltadora	-3.256962	-79.932495
Punto # 3	Salida del centro poblado	Circunvalación norte y 12 ^{va} norte	-3.244939	-79.952946
Punto # 4	Zona de descarga al mar	Desembocadura al mar	-3.238068	-79.998095

Fuente: Los autores.



*Ilustración 4: Puntos de muestreo en el estero El Macho.
Fuente: Elaborado a partir de ODEPLAN (2002).*

3.3.2. Justificación de la selección de los puntos de muestreo

Los puntos de muestreo fueron seleccionados de acuerdo a varias características individuales que se pueden observar en el mapa de uso de suelo del cantón (véase anexo B). Algunas de estas características se detallan a continuación:

- Punto 1: Este punto fue seleccionado debido a que presenta una menor influencia de los centros poblados y permite evaluar el aumento de la contaminación a lo largo del estero. También, este punto es el más influenciado por las actividades agrícolas (bananeras) del cantón.
- Punto 2: Se seleccionó este punto ya que se encuentra inmediatamente después de la unión con una derivación del estero (canal El Limón), misma que recoge las descargas de aguas servidas de otras parroquias. Es importante mencionar que a pocos metros del punto se encuentra la planta asfáltadora municipal de Machala.
- Punto 3: En este punto se puede analizar la influencia del aporte de descargas de aguas residuales generadas por actividades domésticas, comerciales y de

prestación de servicios desarrolladas a lo largo del estero como: lavadoras, lubricadoras, mecánicas, etc.

- Punto 4: Correspondiente a la desembocadura al mar, este punto permite conocer las características de las descargas hacia el océano y verificar la posible influencia de las piscinas camaroneras en la calidad del agua.

3.3.3. Muestreo

3.3.3.1. Campañas de muestreo

Se desarrollaron tres campañas de muestreo en los meses de febrero, marzo y mayo de 2018 para considerar las posibles variaciones de los parámetros físico-químicos y microbiológicos en la estación seca y lluviosa del año.

3.3.3.2. Equipos y materiales

Los parámetros correspondientes a temperatura y oxígeno disuelto fueron medidos in situ con ayuda del equipo multiparámetro para obtener resultados precisos.

Para la toma de muestras y análisis de los otros parámetros se utilizaron los siguientes materiales:

- Frasco de Winkler con capacidad de 300 ml para recolección de muestras de agua utilizadas para determinar la DBO₅.
- Recipientes de vidrio esterilizados de 500 ml para recolección de muestras de agua usadas en la determinación de coliformes fecales.
- Botellas plásticas de cinco litros para toma de muestras de agua posteriormente usadas para análisis de parámetros físico-químicos.
- Gel refrigerante, utilizado para mantener en óptimas condiciones la temperatura de las muestras durante su transporte hacia el laboratorio.
- Hielera, usada para el transporte y conservación de las muestras desde la recolección hasta su análisis.
- Frasco lavador con agua destilada para esterilización de las sondas del multiparámetro.
- Equipos de protección personal para la recolección de muestras como: mandil, mascarillas, guantes, etc.

3.3.3.3. Toma y conservación de las muestras

El correcto proceso a seguir para la toma y transporte de muestras asegura que los resultados de los análisis de laboratorio sean confiables, pues la integridad que presente la muestra va a evitar que se produzcan cambios considerables en las

variables físico-químicas y microbiológicas de la misma, así mientras menor sea el tiempo entre la toma de muestra y su análisis, los resultados obtenidos serán más confiables (Albany, 1969).

En el diseño de los programas de muestreo de agua en el estero El Macho se consideró las recomendaciones propuestas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2226:2000. Esta norma involucra dos apéndices correspondientes al manejo y conservación de muestras (NTE INEN 2169:2013) y a las técnicas de muestreo (NTE INEN 2176:1998), en las que se detallan las variables a tomar en cuenta para la toma y transporte correcto de las muestras.

De acuerdo a lo expuesto en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:1998 las técnicas de muestreo varían de acuerdo a condiciones específicas del cuerpo de agua a evaluar y del objetivo del programa de muestreo. Dado que el proyecto pretende evaluar la calidad de agua del estero El Macho, se tomó muestras puntuales para determinar la calidad del agua en el tiempo y lugar en que se tomó la muestra (INEN, 1998).

Dado que la metodología empleada por la NSF para el cálculo del Índice de Calidad de Agua involucra parámetros físico-químicos y microbiológicos se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones con respecto al tipo de recipientes usados en el muestreo:

3.3.3.4. Análisis físico-químico

Para el análisis físico-químico la guía recomienda usar recipientes especiales para el caso particular del DBO_5 , como las botellas de boca angosta con tapa de vidrio esmerilado para reducir el ingreso de aire a la muestra y recipientes de polietileno o vidrio de borosilicato para los demás parámetros considerados por el ICA-NSF.

3.3.3.5. Análisis microbiológico

Se debe usar recipientes de vidrio o plástico resistentes a elevadas temperaturas de esterilización cuyo material no libere químicos capaces de inhibir la viabilidad de microorganismos hasta el análisis de la muestra en el laboratorio.

De acuerdo a las indicaciones propuestas por el personal de laboratorio, las muestras se tomaron en un punto seguro, en donde el agua se encuentre circulando normalmente, sin interrupción alguna en su curso, en condiciones de contra corriente y a una profundidad medida desde la superficie de 20 cm. El análisis de los parámetros



considerados se realizó en el Laboratorio de Sanitaria perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca.

A continuación, se presenta una tabla con los métodos utilizados para la valoración de cada uno de los parámetros evaluados:

Tabla 15: Métodos empleados para la valoración de los parámetros del ICA-NSF.

Parámetro	Lugar de medición	Método
Temperatura y oxígeno disuelto	In situ	Multiparámetro (55-12FT YSI)
Potencial de hidrógeno	Laboratorio	Método potenciométrico (electrodos de pH)
DBO ₅	Laboratorio	Método de dilución
Turbiedad	Laboratorio	Método nefelométrico (turbidímetro / colorímetro)
Nitratos	Laboratorio	Método espectrofotométrico del salicilato de sodio
Fosfatos	Laboratorio	Método colorimétrico del ácido vanadomolibdofosfórico
Sólidos totales	Laboratorio	Método gravimétrico
Coliformes fecales	Laboratorio	Método del NMP/100 ml (tubos múltiples)

Fuente: Los autores.

3.3.4. Metodología para la determinación del ICA-NSF

3.3.4.1. Parámetros de la calidad del agua del modelo NSF

Los parámetros y las unidades en que son medidos son los siguientes:

- Temperatura, expresada como variación de temperatura desde el equilibrio (ΔT).
- Potencial de hidrógeno (unidades de pH).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (mg/l).
- Oxígeno Disuelto, expresado en porcentaje de saturación (% Sat).
- Turbiedad (NTU, FTU).
- Nitratos (mg/l, como nitrógeno).
- Fosfatos (mg/l, como fósforo).
- Sólidos Totales (mg/l).
- Coliformes Fecales (NMP/100 ml).

3.3.4.2. Cálculo del índice de calidad del agua del modelo NSF

Para poder calcular el ICA-NSF es necesario obtener previamente el valor de los parámetros de calidad antes mencionados mediante análisis en laboratorio (Brown, McClelland, Deininger, & Tozer, 1970). Al analizar los resultados obtenidos en el laboratorio, se decidió usar el Índice Multiplicativo, al ser más sensible a valores extremos en los subíndices I_i lo que permite reflejar con mayor precisión un cambio de calidad (Torres et al., 2009). Para el cálculo del índice multiplicativo se emplea la siguiente fórmula:

$$ICM = \prod_{i=1}^n I_i = (I_1^{w_1})(I_2^{w_2}) \dots (I_n^{w_n})$$

Donde:

ICM: Índice de calidad multiplicativo

I_i : subíndice del parámetro i ; (se encuentra entre 0 y 100)

W_i : pesos relativos asignados a cada parámetro (I_i), y ponderados entre 0 y 100, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a 100. Las ponderaciones se detallan en la tabla a continuación:

Tabla 16: Peso específico de los parámetros de calidad del ICA-NSF.

Característica	Peso (Wi)
Temperatura	10%
Oxígeno Disuelto	17%
DBO ₅	10%
Sólidos Totales	8%
Turbiedad	8%
Fosfatos	10%
Nitratos	10%
pH	12%
Coliformes Fecales	15%

Fuente: Brown et al., 1970.

Para la obtención del subíndice de cada parámetro se emplean fórmulas ajustadas a las curvas elaboradas por Brown et al. en 1970 (véase anexo A). Las fórmulas, obtenidas de Jiménez y Vélez (2006), se detallan a continuación:

- Cambio de temperatura

$$I_{\Delta T} = 1.9619 \times 10^{-6} \Delta T^6 - 1.3964 \times 10^{-4} \Delta T^5 + 2.5908 \times 10^{-3} \Delta T^4 + 1.5398 \times 10^{-2} \Delta T^3 - 6.7952 \times 10^{-1} \Delta T^2 - 6.7204 \times 10^{-1} \Delta T + 9.0392 \times 10^1$$

$$\text{Si } \Delta T > 15^\circ\text{C} \therefore I_{\Delta T} = 5\%$$

- Potencial de hidrógeno

$$\text{Si } pH \leq 7.5 \therefore$$

$$I_{pH} = -0.1789pH^5 + 3.7932pH^4 - 30.517pH^3 + 119.75pH^2 - 224.58pH + 159.46$$

$$\text{Si } pH > 7.5 \therefore$$

$$I_{pH} = -1.11429pH^4 + 44.50952pH^3 - 656.60pH^2 + 4215.34762pH - 9840.14286$$

$$\text{Si } pH < 2 \text{ ó } pH > 12 \therefore I_{pH} = 0\%$$

- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días

$$I_{DBO_5} = 1.8677 \times 10^{-4} DBO^4 - 1.6615 \times 10^{-2} DBO^3 + 5.9636 \times 10^{-1} DBO^2 - 1.1152 \times 10^1 DBO + 1.0019 \times 10^2$$

$$\text{Si } DBO_5 > 30 \text{ mg/l} \therefore I_{DBO_5} = 2\%$$

- Oxígeno disuelto, expresado en porcentaje de saturación

$$I_{\%OD} = 3.1615 \times 10^{-8} \%OD^5 - 1.0304 \times 10^{-5} \%OD^4 + 1.0076 \times 10^{-3} \%OD^3 - 2.7883 \times 10^{-2} \%OD^2 + 8.4068 \times 10^{-1} \%OD - 1.6120 \times 10^{-1}$$

$$\text{Si } \%OD > 140 \therefore I_{\%OD} = 50\%$$

- Turbiedad

$$I_T = 1.8939 \times 10^{-6} T^4 - 4.9942 \times 10^{-4} T^3 + 4.9181 \times 10^{-2} T^2 - 2.6284 T + 9.8098 \times 10^1$$

$$\text{Si Turbiedad} > 100 \text{ NTU} \therefore I_T = 5\%$$

- Nitratos

$$I_{Nitratos} = 3.5603 \times 10^{-9} N^6 - 1.2183 \times 10^{-6} N^5 + 1.6238 \times 10^{-4} N^4 - 1.0693 \times 10^{-2} N^3 + 3.7304 \times 10^{-1} N^2 - 7.5210 N + 1.0095 \times 10^2$$

$$\text{Si Nitratos} > 100 \text{ mg/l} \therefore I_{CF} = 1\%$$

- Fosfatos

$$I_P = 4.6732 \times 10^{-3} P^6 - 1.6167 \times 10^{-1} P^5 + 2.2059 P^4 - 1.50504 \times 10^1 P^3 + 5.3889 \times 10^1 P^2 - 9.98933 \times 10^1 P + 9.98311 \times 10^1$$

$$\text{Si Fosfatos} > 10 \text{ mg/l} \therefore I_P = 2\%$$

- Sólidos totales

$$I_{ST} = -4.4289 \times 10^{-9} ST^4 + 4.970 \times 10^{-6} ST^3 - 1.9591 \times 10^{-3} ST^2 + 1.8973 \times 10^{-1} ST + 8.0608 \times 10^1$$

$$\text{Si } ST > 500 \text{ mg/l} \therefore I_{ST} = 20\%$$

- Coliformes fecales

$$\text{Si } 1 \leq CF \leq 10 \therefore I_{CF} = -10.12 \ln(CF) + 95.896$$

$$\text{Si } 10 < CF \leq 100 \therefore I_{CF} = 111.86 CF^{-0.194}$$

$$\text{Si } 100 < CF \leq 1000 \therefore I_{CF} = -10.34 \ln(CF) + 92.777$$

$$\text{Si } 1000 < CF \leq 10000 \therefore I_{CF} = 1 \times 10^{-7} CF^2 - 0.0024 CF + 23.308$$

$$\text{Si } 10000 < CF \leq 100000 \therefore I_{CF} = -3.072 \ln(CF) + 38.331$$

$$\text{Si } CF > 100000 \therefore I_{CF} = 2\%$$

Para la clasificación de la calidad del agua, Robert Brown en su estudio “A Water Quality Index – ¿Do we dare?” considera la siguiente clasificación adoptada por el ICA-NSF de acuerdo a las características que debe poseer el agua para ser catalogada como adecuada para el consumo humano.

Tabla 17: Clasificación de la calidad de agua de acuerdo con el ICA-NSF.

Índice de calidad	Clasificación
91-100	Excelente
71-90	Buena
51-70	Mediana
26-50	Mala
0-25	Muy mala

Fuente: Brown et al., 1970.

J. Carrillo (2013) en su estudio “Análisis geoestadístico de los Índices de Calidad del Agua y su representación cartográfica en el río Armería, en el periodo comprendido desde el año 2000 al 2006” menciona las siguientes características de la clasificación de la calidad del agua:

- Los cuerpos de agua dentro del rango de calidad de “Buena” o “Excelente” pueden albergar una amplia biodiversidad acuática y son idóneos para cualquier forma de recreación.
- Aquellos que entran en el rango de “Mediana” calidad disponen de una menor diversidad de especies y presentan un crecimiento aumentado de algas.
- Los cauces cuya valoración sea de “Mala” calidad soportan una escasa biodiversidad y pueden estar sufriendo procesos de contaminación.
- Por último, aquellos cuerpos de agua cuya calidad sea “Muy mala” presentan numerosos problemas de contaminación y permiten únicamente la existencia de las formas de vida más resistentes. Además, no deben ser utilizados para el desarrollo de actividades que involucren contacto físico con el agua.

4. RESULTADOS

4.1. Evaluación de impactos ambientales

4.1.1. Reconocimiento de principales impactos

4.1.1.1. Componente ambiental: Agua

- Alteración de la calidad del agua en los parámetros DBO₅, sólidos totales, turbiedad, oxígeno disuelto y coliformes fecales por descargas directas de aguas residuales domésticas.
- Alteración de la calidad del agua por descarga de aceites y grasas provenientes de lavadoras de vehículos, lubricadoras y mecánicas.
- Alteración de la calidad del agua en los parámetros de sólidos totales, DBO₅ y oxígeno disuelto por la introducción de residuos sólidos generados por la población.
- Reducción de contenido de oxígeno disuelto en el agua del estero por incremento de temperatura a causa de escasez de vegetación riparia.

4.1.1.2. Componente social: Población

- Afección de la calidad de vida de la población por el desagradable paisaje y malos olores generados por las aguas residuales y los botaderos existentes en las riberas del estero.
- Propagación de enfermedades de tipo gastrointestinal y sanguíneo en los habitantes por la proliferación de vectores (roedores e insectos) en el estero.

4.1.1.3. Otros impactos

Aunque no se evaluaron debido a la subjetividad que implicaría y no disponer de información actualizada ni de recursos para levantarla, a continuación, se detallan otros impactos que se conoce que existen por revisión bibliográfica:

- Muerte de especies animales por consumo de residuos sólidos acumulados en áreas de manglar.
- Bioacumulación de metales pesados en las especies relacionadas con el estero El Macho.

4.1.2. Matriz de importancia

En base a la metodología propuesta por Vicente Conesa Fernández se desarrolló la siguiente matriz de importancia donde se valoran los impactos ambientales anteriormente detallados.

Tabla 18: Matriz de importancia de impactos ambientales relacionados con el estero El Macho.

Compartimento	Impacto ambiental	Importancia											Clasificación	
		N	IN	EX	MO	PE	SI	PR	AC	EF	RV	MC	Total	Categoría
Agua	Alteración de la calidad del agua en los parámetros DBO ₅ , sólidos totales, turbiedad, oxígeno disuelto y coliformes fecales por descargas directas de aguas residuales domésticas.	-1	12	8	4	2	4	4	1	4	1	4	-76	Crítico
	Alteración de la calidad del agua por descarga de aceites y grasas provenientes de lavadoras de vehículos, lubricadoras y mecánicas.	-1	4	2	4	1	4	1	1	4	1	1	-33	Moderado
	Alteración de la calidad del agua en los parámetros de sólidos totales, DBO ₅ y oxígeno disuelto por la introducción de residuos sólidos generados por la población.	-1	12	4	4	4	4	2	4	4	4	4	-74	Severo
	Reducción de contenido de oxígeno disuelto en el agua del estero por incremento de temperatura a causa de escasez de vegetación riparia.	-1	2	4	4	2	2	2	1	4	2	2	-33	Moderado
Social	Afección de la calidad de vida de la población por el desagradable paisaje y malos olores generados por las aguas residuales y los botaderos existentes en	-1	8	4	4	1	1	4	1	4	1	2	-50	Moderado

las riberas del estero.														
Propagación de enfermedades de tipo gastrointestinal y sanguíneo en los habitantes por la proliferación de vectores (roedores e insectos) en el estero.	-1	4	4	4	2	1	4	1	4	2	2	-40	Moderado	

Fuente: Los autores.

Nota 1: Las imágenes de los impactos ambientales se encuentran en el anexo D.

Nota 2: La valoración que se le asignó a cada símbolo de la matriz de importancia está sujeta a los resultados de los parámetros de la calidad del agua obtenidos del muestreo en el área de estudio, estadísticas, visitas de campo y el criterio de los autores.



4.2. Índice de calidad del agua

4.2.1. Resultados de parámetros analizados en el laboratorio

Las hojas de resultados entregadas por el laboratorio se encuentran ubicadas en el anexo E. En la tabla 19 se muestra un resumen de los valores obtenidos.

4.2.2. Resultados del cálculo del ICA-NSF

Con los resultados mostrados anteriormente se procede con el cálculo del Índice de Calidad del Agua obteniendo los siguientes resultados por campaña:

Tabla 19: Tabla resumen de los resultados obtenidos del laboratorio.

Punto de muestreo	Parámetro	1ra Campaña (22-Feb-2018)	2da Campaña (22-Mar-2018)	3ra Campaña (10-May-2018)	Unidades
Punto 1: Rayito de Luz	Hora	8:50:00	7:20:00	8:21:00	
	Temperatura	27.2	26.9	25.4	°C
	Oxígeno Disuelto	2.18	2.23	2.92	mg/l
	Porcentaje de Sat.	27	28	35.7	% Sat
	Coliformes Fecales	1.7x10 ⁶	2.2x10 ⁵	2.1x10 ⁶	NMP/100 ml
	pH	8	7.4	7.7	
	DBO ₅	3.64	2.86	1.72	mg/l
	Fosfatos	3.2	3.25	4.76	mg/l
	Nitratos	0.21	0.37	0.861	mg/l
	Sólidos Totales	526	396	395	mg/l
	Turbiedad	4.47	9.34	61.4	NTU
Punto 2: Planta Asfaltadora	Hora	9:10:00	7:37:00	8:38:00	
	Temperatura	27.6	26.8	25.6	°C
	Oxígeno Disuelto	1.35	0.44	1.69	mg/l
	Porcentaje de Sat.	16.9	5.5	20.6	% Sat
	Coliformes Fecales	1.6x10 ⁷	7.0x10 ⁶	3.9x10 ⁶	NMP/100 ml
	pH	7.9	7.8	7.6	
	DBO ₅	9.18	8.12	2.56	mg/l
	Fosfatos	1.14	2.38	2.65	mg/l
	Nitratos	0.12	0.291	0.671	mg/l
	Sólidos Totales	629	469	344	mg/l
	Turbiedad	4.82	11.3	78.4	NTU
Punto 3: Circunvalación y Doceava Norte	Hora	9:45:00	8:03:00	9:00:00	
	Temperatura	28.2	27	25.8	°C
	Oxígeno Disuelto	0.19	0.22	0.65	mg/l
	Porcentaje de Sat.	2.3	2.7	8.9	% Sat
	Coliformes Fecales	2.8x10 ⁷	2.2x10 ⁸	4.0x10 ⁷	NMP/100 ml
	pH	7.8	7.4	7.5	
	DBO ₅	38.6	19.1	5.26	mg/l
	Fosfatos	1.7	2.01	4.07	mg/l
	Nitratos	0.15	0.236	0.581	mg/l



Punto 4: Desembocadura al mar	Sólidos Totales	1256	855	439	mg/l
	Turbiedad	12	16.7	49	NTU
	Hora	10:35:00	9:25:00	10:10:00	
	Temperatura	28.3	25.4	28.1	°C
	Oxígeno Disuelto	5.24	5.15	2.77	mg/l
	Porcentaje de Sat.	73.3	74.5	38.3	% Sat
	Coliformes Fecales	6.8×10^3	6.1×10^4	1.3×10^5	NMP/100 ml
	pH	8.3	8.3	8	
	DBO ₅	0.79	1.13	2.06	mg/l
	Fosfatos	0.43	1.05	4.33	mg/l
	Nitratos	0.11	0.01	0.02	mg/l
	Sólidos Totales	36398	38434	13676	mg/l
	Turbiedad	3.98	7.66	20.1	NTU

Fuente: Los autores.

4.2.2.1. Primera campaña:

Tabla 20: Resultados del ICA-NSF de la primera campaña de muestreo.

Punto	Parámetro	Valor	Unidades	Subíndice	Ponderación	Índice	TOTAL	CALIDAD
1	Oxígeno Disuelto	27.00	% Sat	17.021	0.17	1.619	28.517	MALA
	Coliformes Fecales	1.7x10 ⁶	NMP/100 ml	2.000	0.15	1.110		
	pH	8.00		84.980	0.12	1.704		
	DBO ₅	3.64	mg/l	66.730	0.1	1.522		
	Fosfatos	3.20	mg/l	20.908	0.1	1.355		
	Nitratos	0.21	mg/l	99.387	0.1	1.584		
	Temperatura	0.00	Δ °C	90.392	0.1	1.569		
	Sólidos Totales	526.00	mg/l	20.000	0.08	1.271		
	Turbiedad	4.47	NTU	87.288	0.08	1.430		
2	Oxígeno Disuelto	16.90	% Sat	10.149	0.17	1.483	26.137	MALA
	Coliformes Fecales	1.6x10 ⁷	NMP/100 ml	2.000	0.15	1.110		
	pH	7.90		87.458	0.12	1.710		
	DBO ₅	9.18	mg/l	36.544	0.1	1.433		
	Fosfatos	1.14	mg/l	37.114	0.1	1.435		
	Nitratos	0.12	mg/l	100.053	0.1	1.585		
	Temperatura	-0.40	Δ °C	90.551	0.1	1.569		
	Sólidos Totales	629.00	mg/l	20.000	0.08	1.271		
	Turbiedad	4.82	NTU	86.517	0.08	1.429		
3	Oxígeno Disuelto	2.30	% Sat	1.637	0.17	1.087	13.761	MUY MALA
	Coliformes Fecales	2.8x10 ⁷	NMP/100 ml	2.000	0.15	1.110		
	pH	7.80		89.556	0.12	1.715		
	DBO ₅	38.60	mg/l	2.000	0.1	1.072		
	Fosfatos	1.70	mg/l	28.052	0.1	1.396		
	Nitratos	0.15	mg/l	99.830	0.1	1.585		



	Temperatura	1.00	Δ °C	89.058	0.1	1.567	
	Sólidos Totales	1256.00	mg/l	20.000	0.08	1.271	
	Turbiedad	12.00	NTU	72.816	0.08	1.409	
4	Oxígeno Disuelto	73.30	% Sat	77.917	0.17	2.097	54.905 MEDIA
	Coliformes Fecales	6.8x10 ³	NMP/100 ml	11.612	0.15	1.445	
	pH	8.30		75.800	0.12	1.681	
	DBO ₅	0.79	mg/l	91.744	0.1	1.571	
	Fosfatos	0.43	mg/l	65.718	0.1	1.520	
	Nitratos	0.11	mg/l	100.127	0.1	1.585	
	Temperatura	1.10	Δ °C	88.855	0.1	1.566	
	Sólidos Totales	36398.00	mg/l	20.000	0.08	1.271	
	Turbiedad	3.98	NTU	88.385	0.08	1.431	

Fuente: Los autores.

4.2.2.2. Segunda campaña:

Tabla 21: Resultados del ICA-NSF de la segunda campaña de muestreo.

Punto	Parámetro	Valor	Unidades	Subíndice	Ponderación	Índice	TOTAL	CALIDAD
1	Oxígeno Disuelto	28.00	% Sat	17.847	0.17	1.632	31.113	MALA
	Coliformes Fecales	2.2x10 ⁵	NMP/100 ml	2.000	0.15	1.110		
	pH	7.40		93.562	0.12	1.724		
	DBO ₅	2.86	mg/l	72.797	0.1	1.535		
	Fosfatos	3.25	mg/l	20.728	0.1	1.354		
	Nitratos	0.37	mg/l	98.218	0.1	1.582		
	Temperatura	0.00	Δ °C	90.392	0.1	1.569		
	Sólidos Totales	396.00	mg/l	48.243	0.08	1.364		
	Turbiedad	9.34	NTU	77.447	0.08	1.416		
2	Oxígeno Disuelto	5.50	% Sat	3.777	0.17	1.253	22.201	MUY MALA
	Coliformes Fecales	7.0x10 ⁶	NMP/100 ml	2.000	0.15	1.110		
	pH	7.80		89.556	0.12	1.715		
	DBO ₅	8.12	mg/l	40.873	0.1	1.449		



	Fosfatos	2.38	mg/l	23.720	0.1	1.372		
	Nitratos	0.29	mg/l	98.793	0.1	1.583		
	Temperatura	-0.10	Δ °C	90.452	0.1	1.569		
	Sólidos Totales	469.00	mg/l	37.097	0.08	1.335		
	Turbiedad	11.30	NTU	73.987	0.08	1.411		
3	Oxígeno Disuelto	2.70	% Sat	1.925	0.17	1.118	16.967	MUY MALA
	Coliformes Fecales	2.2x10 ⁸	NMP/100 ml	2.000	0.15	1.110		
	pH	7.40		93.562	0.12	1.724		
	DBO ₅	19.10	mg/l	13.830	0.1	1.300		
	Fosfatos	2.01	mg/l	25.556	0.1	1.383		
	Nitratos	0.24	mg/l	99.196	0.1	1.584		
	Temperatura	0.10	Δ °C	90.318	0.1	1.569		
	Sólidos Totales	855.00	mg/l	20.000	0.08	1.271		
	Turbiedad	16.70	NTU	65.741	0.08	1.398		
4	Oxígeno Disuelto	74.50	% Sat	79.487	0.17	2.104	44.960	MALA
	Coliformes Fecales	6.1x10 ⁴	NMP/100 ml	4.482	0.15	1.252		
	pH	8.30		75.800	0.12	1.681		
	DBO ₅	1.13	mg/l	88.326	0.1	1.565		
	Fosfatos	1.05	mg/l	39.415	0.1	1.444		
	Nitratos	0.01	mg/l	100.875	0.1	1.586		
	Temperatura	-1.50	Δ °C	89.833	0.1	1.568		
	Sólidos Totales	38434.00	mg/l	20.000	0.08	1.271		
	Turbiedad	7.66	NTU	80.632	0.08	1.421		

Fuente: Los autores.

4.2.2.3. Tercera campaña

Tabla 22: Resultados del ICA-NSF de la tercera campaña de muestreo.

Punto	Parámetro	Valor	Unidades	Subíndice	Ponderación	Índice	TOTAL	CALIDAD
1	Oxígeno Disuelto	35.70	% Sat	25.256	0.17	1.731	29.841	MALA
	Coliformes Fecales	2.1x10 ⁶	NMP/100 ml	2.000	0.15	1.110		
	pH	7.70		91.216	0.12	1.719		
	DBO ₅	1.72	mg/l	82.690	0.1	1.555		
	Fosfatos	4.76	mg/l	13.911	0.1	1.301		
	Nitratos	0.861	mg/l	94.744	0.1	1.576		
	Temperatura	0.00	Δ °C	90.392	0.1	1.569		
	Sólidos Totales	395.00	mg/l	48.367	0.08	1.364		
	Turbiedad	61.40	NTU	33.438	0.08	1.324		
2	Oxígeno Disuelto	20.60	% Sat	12.394	0.17	1.534	27.233	MALA
	Coliformes Fecales	3.9x10 ⁶	NMP/100 ml	2.000	0.15	1.110		
	pH	7.60		92.380	0.12	1.721		
	DBO ₅	2.56	mg/l	75.278	0.1	1.541		
	Fosfatos	2.65	mg/l	22.747	0.1	1.367		
	Nitratos	0.671	mg/l	96.068	0.1	1.579		
	Temperatura	-0.20	Δ °C	90.499	0.1	1.569		
	Sólidos Totales	344.00	mg/l	54.340	0.08	1.377		
	Turbiedad	78.40	NTU	25.212	0.08	1.295		
3	Oxígeno Disuelto	8.90	% Sat	5.760	0.17	1.347	22.972	MUY MALA
	Coliformes Fecales	4.0x10 ⁷	NMP/100 ml	2.000	0.15	1.110		
	pH	7.50		93.229	0.12	1.723		
	DBO ₅	5.26	mg/l	55.755	0.1	1.495		
	Fosfatos	4.07	mg/l	17.244	0.1	1.329		
	Nitratos	0.581	mg/l	96.704	0.1	1.580		
	Temperatura	-0.40	Δ °C	90.551	0.1	1.569		
	Sólidos Totales	439.00	mg/l	42.329	0.08	1.349		



	Turbiedad	49.00	NTU	39.552	0.08	1.342		
	Oxígeno Disuelto	38.30	% Sat	28.178	0.17	1.764		
	Coliformes Fecales	1.3x10 ⁵	NMP/100 ml	2.000	0.15	1.110		
	pH	8.00		84.980	0.12	1.704		
	DBO ₅	2.06	mg/l	79.606	0.1	1.549		
4	Fosfatos	4.33	mg/l	15.987	0.1	1.319	29.862	MALA
	Nitratos	0.02	mg/l	100.800	0.1	1.586		
	Temperatura	-2.70	Δ °C	87.108	0.1	1.563		
	Sólidos Totales	13676.00	mg/l	20.000	0.08	1.271		
	Turbiedad	20.10	NTU	61.390	0.08	1.390		

Fuente: Los autores.

4.2.3. Análisis de resultados

A través del cálculo del ICA-NSF se pudo conocer que, desde el primer punto de muestreo, la calidad del agua se clasifica como “Mala”, siendo las coliformes fecales y el oxígeno disuelto los factores más influyentes en la asignación de esta categoría. También es importante mencionar que, en todas las campañas, el valor de los fosfatos y nitratos en el primer punto de muestreo es el más elevado debido al uso de agroquímicos compuestos de fósforo y nitrógeno empleados en el sector bananero, mismo que se desarrolla en las cercanías (véase Ilustración 5 y 6).

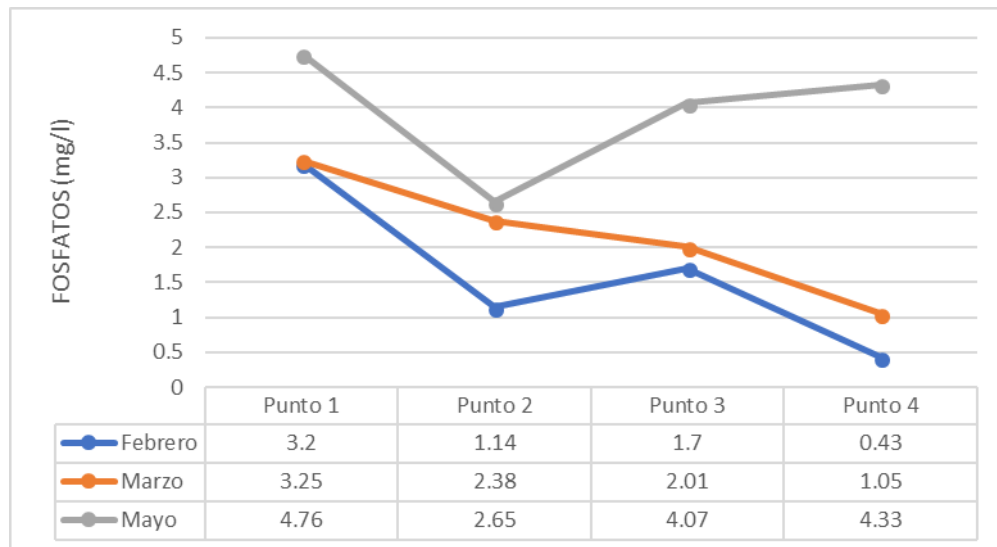


Ilustración 5: Concentración de fosfatos a lo largo de los puntos de muestreo por campañas.
Fuente: Los autores.

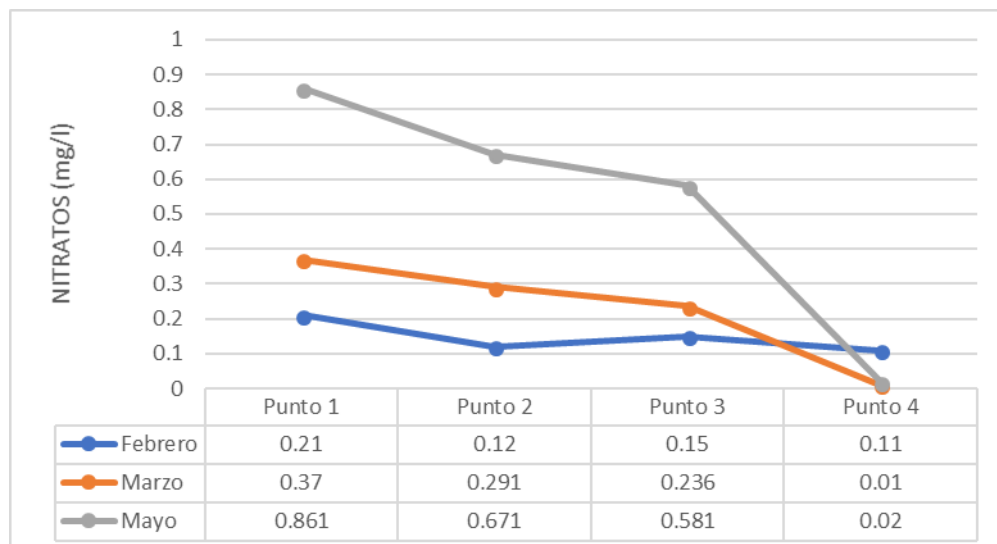


Ilustración 6: Concentración de nitratos a lo largo de los puntos de muestreo por campañas.
Fuente: Los autores.

El parámetro más llamativo es el de coliformes fecales, el cual, al tener valores muy elevados en todos los puntos de muestreo, es el que más afecta la calidad del agua. El tercer punto presenta los valores más elevados de este parámetro en todas las campañas de muestreo a causa de las descargas directas de aguas residuales domésticas de la población hacia el estero (véase Ilustración 7). En el cuarto punto de muestreo la concentración se ve reducida por la influencia del mar.

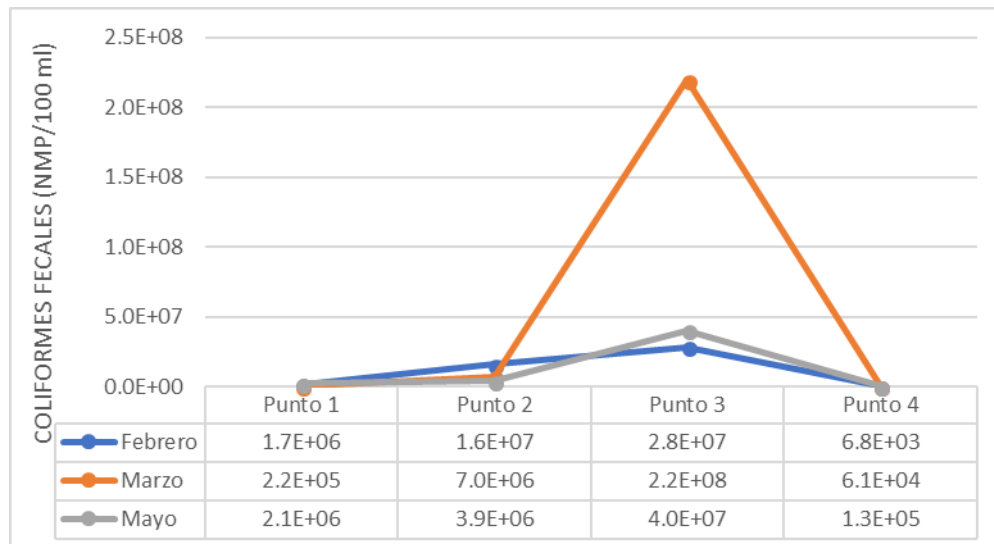


Ilustración 7: Concentración de coliformes fecales a lo largo de los puntos de muestreo por campañas.
Fuente: Los autores.

De manera muy similar, el oxígeno disuelto llega a niveles críticos en el tercer punto de muestreo debido a las descargas de aguas residuales domésticas como se muestra en la ilustración a continuación:

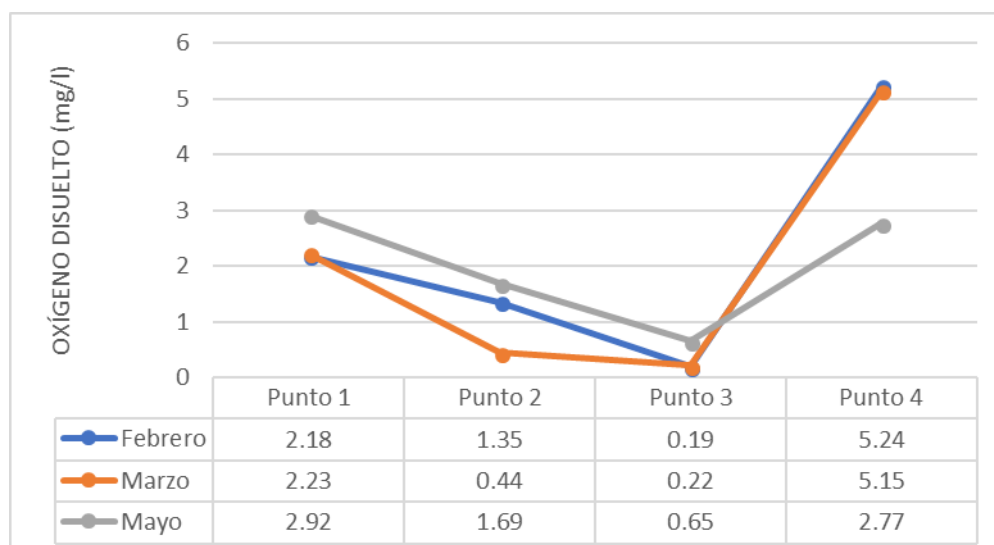


Ilustración 8: Concentración de oxígeno disuelto a lo largo de los puntos de muestreo por campañas.
Fuente: Los autores.

En cuanto al parámetro de turbiedad, no se registraron valores elevados durante las campañas de muestreo realizadas en época seca, debido principalmente a que el volumen de agua del estero se mueve a una baja velocidad, causando la precipitación de los sedimentos. Lo opuesto se vio en la época lluviosa, donde debido a un mayor volumen y agitación del cuerpo de agua se evidenció una mayor turbiedad.

La DBO₅ llega a niveles altos en el tercer punto de muestreo, sobrepasando incluso el límite máximo propuesto por Brown que corresponde a 30 mg/l durante la primera campaña. Estas concentraciones generan una disminución importante en el oxígeno disuelto hasta puntos intolerables para la vida acuática.

El pH y la temperatura presentan valores normales, lo cual indica una influencia nula o poco significativa del sector industrial de la ciudad de Machala.

Finalmente, es importante mencionar que la calidad del agua en el tercer punto presentó una calidad “Muy mala” en todas las campañas de muestreo, tanto en época seca como lluviosa.

4.2.3.1. Comparación con valores de normativa

Para la verificación del cumplimiento de los parámetros determinados en el muestreo se comparó con los límites máximos permisibles establecidos en el Anexo 1 del libro VI del TULSMA; en los primeros tres puntos de muestreo se comparó con los límites de descargas en cuerpos de agua dulce y para el cuarto punto de muestreo con descargas a cuerpos de agua salada. Es importante mencionar que de los nueve parámetros considerados por el ICA-NSF solo se establecen límites para cinco de ellos, y son: coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno, pH, sólidos totales y temperatura.

El parámetro de sólidos totales del cuarto punto de muestreo no es considerado debido a que la salinidad natural del agua aumenta su concentración. El cumplimiento se detalla en las tablas a continuación:

Cumplimiento de primera campaña:

Tabla 23: Comparación de parámetros de la primera campaña de muestreo con la normativa nacional.

Comparación de valores con la normativa de la primera campaña de muestreo

Punto de muestreo	Parámetro	Límite de normativa	Resultado de laboratorio	Cumplimiento
1	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2000	1.7x10 ⁶	No cumple
	DBO ₅ (mg/l)	200	3.64	Cumple
	pH	6-9	8	Cumple
	Sólidos Totales (mg/l)	1600	526	Cumple
	Temperatura (°C Cond. Natural)	±3	0	Cumple
2	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2000	1.6x10 ⁷	No cumple
	DBO ₅ (mg/l)	200	9.18	Cumple
	pH	6-9	7.9	Cumple
	Sólidos Totales (mg/l)	1600	629	Cumple
	Temperatura (°C Cond. Natural)	±3	-0.4	Cumple
3	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2000	2.8x10 ⁷	No cumple
	DBO ₅ (mg/l)	200	38.6	Cumple
	pH	6-9	7.8	Cumple
	Sólidos Totales (mg/l)	1600	1256	Cumple
	Temperatura (°C Cond. Natural)	±3	1	Cumple
4	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2000	6.8x10 ³	No cumple
	DBO ₅ (mg/l)	400	0.79	Cumple
	pH	6-9	8.3	Cumple
	Sólidos Totales (mg/l)	200	36398	No aplica
	Temperatura (°C Cond. Natural)	<35	28.3	Cumple

Fuente: Los autores.

Cumplimiento de segunda campaña:

Tabla 24: Comparación de parámetros de la segunda campaña de muestreo con la normativa nacional.

Comparación de valores con la normativa de la segunda campaña de muestreo				
Punto de muestreo	Parámetro	Límite de normativa	Resultado de laboratorio	Cumplimiento
1	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2000	2.2×10^5	No cumple
	DBO ₅ (mg/l)	200	2.86	Cumple
	pH	6-9	7.4	Cumple
	Sólidos Totales (mg/l)	1600	396	Cumple
	Temperatura (°C Cond. Natural)	±3	0	Cumple
2	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2000	7.0×10^6	No cumple
	DBO ₅ (mg/l)	200	8.12	Cumple
	pH	6-9	7.8	Cumple
	Sólidos Totales (mg/l)	1600	469	Cumple
	Temperatura (°C Cond. Natural)	±3	-0.1	Cumple
3	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2000	2.2×10^8	No cumple
	DBO ₅ (mg/l)	200	19.1	Cumple
	pH	6-9	7.4	Cumple
	Sólidos Totales (mg/l)	1600	855	Cumple
	Temperatura (°C Cond. Natural)	±3	0.1	Cumple
4	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2000	6.1×10^4	No cumple
	DBO ₅ (mg/l)	400	1.13	Cumple
	pH	6-9	8.3	Cumple
	Sólidos Totales (mg/l)	200	38434	No aplica
	Temperatura (°C Cond. Natural)	<35	25.4	Cumple

Fuente: Los autores.

Cumplimiento de tercera campaña:

Tabla 25: Comparación de parámetros de la tercera campaña de muestreo con la normativa nacional.

Comparación de valores con la normativa de la tercera campaña de muestreo				
Punto de muestreo	Parámetro	Límite de normativa	Resultado de laboratorio	Cumplimiento
1	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2000	2.1×10^6	No cumple
	DBO ₅ (mg/l)	200	1.72	Cumple
	pH	6-9	7.7	Cumple
	Sólidos Totales (mg/l)	1600	395	Cumple
	Temperatura (°C Cond. Natural)	±3	0	Cumple
2	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2000	3.9×10^6	No cumple
	DBO ₅ (mg/l)	200	2.56	Cumple
	pH	6-9	7.6	Cumple
	Sólidos Totales (mg/l)	1600	344	Cumple
	Temperatura (°C Cond. Natural)	±3	-0.2	Cumple
3	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2000	4.0×10^7	No cumple
	DBO ₅ (mg/l)	200	5.26	Cumple
	pH	6-9	7.5	Cumple
	Sólidos Totales (mg/l)	1600	439	Cumple
	Temperatura (°C Cond. Natural)	±3	-0.4	Cumple
4	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2000	1.3×10^5	No cumple
	DBO ₅ (mg/l)	400	2.06	Cumple
	pH	6-9	8	Cumple
	Sólidos Totales (mg/l)	200	13676	No aplica
	Temperatura (°C Cond. Natural)	<35	28.1	Cumple

Fuente: Los autores.

4.2.3.2. Comparación en diferentes estaciones

La tercera campaña de muestreo fue realizada en época de lluvias en el cantón Machala y, a pesar que la precipitación no tuvo la fuerte intensidad de años pasados, donde incluso el estero ha llegado a desbordarse, se evidenciaron ciertos aspectos que deben ser mencionados:

- Dentro de los tres primeros puntos de muestreo, parámetros como el oxígeno disuelto y DBO_5 fueron modificados positivamente gracias a lavado de contaminantes en el estero por la lluvia. Lo contrario se determinó en el cuarto punto de muestreo, donde se observó una afección de dichas características debido al movimiento de la carga orgánica hacia la desembocadura del mar (véase Ilustraciones 9 y 10).

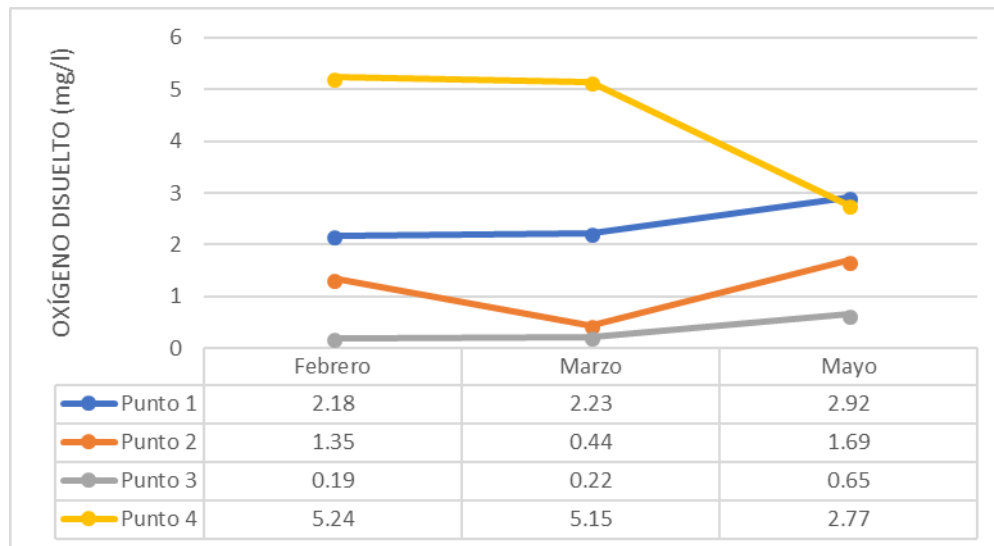


Ilustración 9: Concentraciones de oxígeno disuelto en puntos de muestreo durante época seca y lluviosa.
Fuente: Los autores.

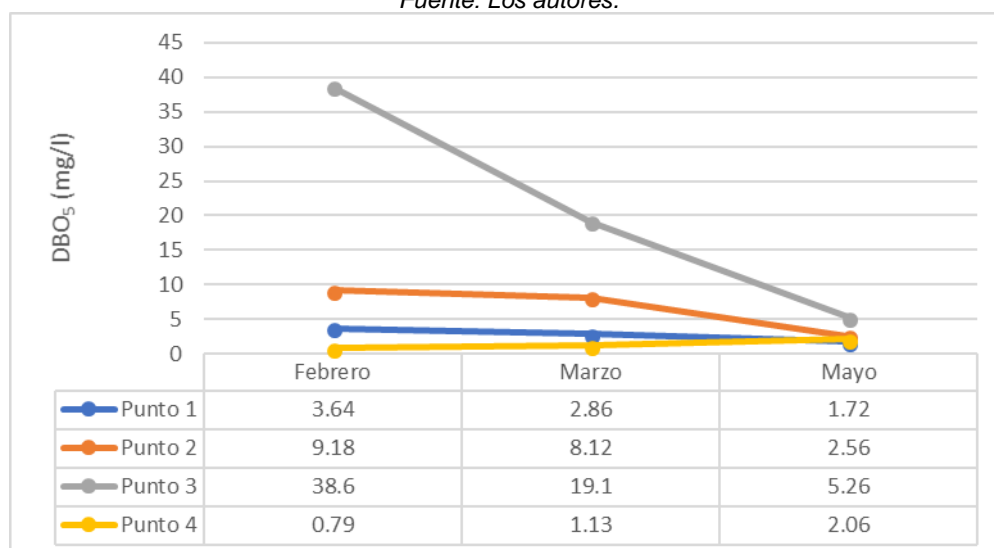


Ilustración 10: Concentraciones de DBO en puntos de muestreo durante época seca y lluviosa.
Fuente: Los autores.

- La turbiedad se vio incrementada en todos los puntos de muestreo debido a la turbulencia generada por un mayor caudal contenido en el canal del estero (véase Ilustración 11).

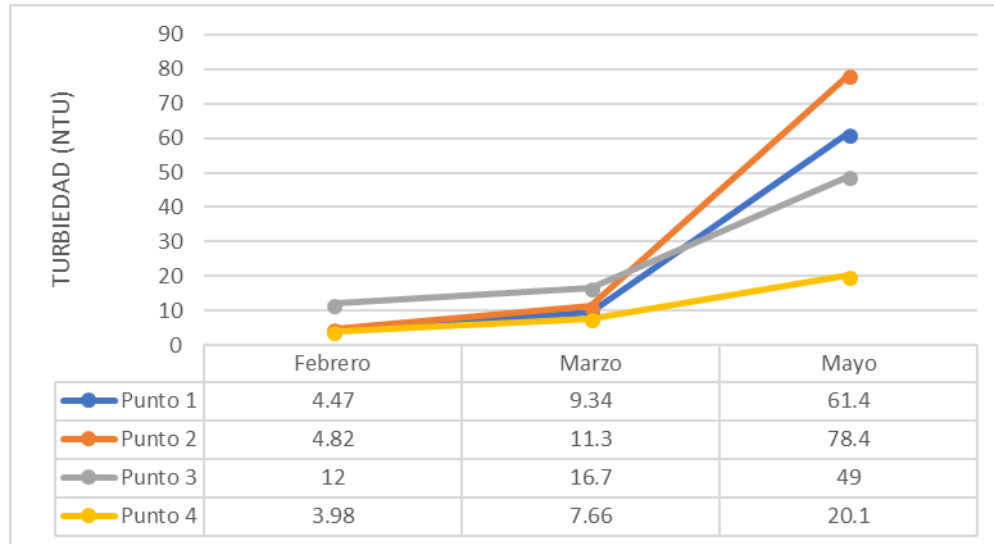


Ilustración 11: Valores de turbiedad en puntos de muestreo durante época seca y lluviosa.
Fuente: Los autores.

- También se observó un incremento significativo de los fosfatos y nitratos en todos los puntos de muestreo durante la época lluviosa. Esto se puede atribuir al lavado hacia el estero de insumos agrícolas existentes en el suelo de los cultivos de banano en el cantón, como se puede apreciar en las ilustraciones 12 y 13.

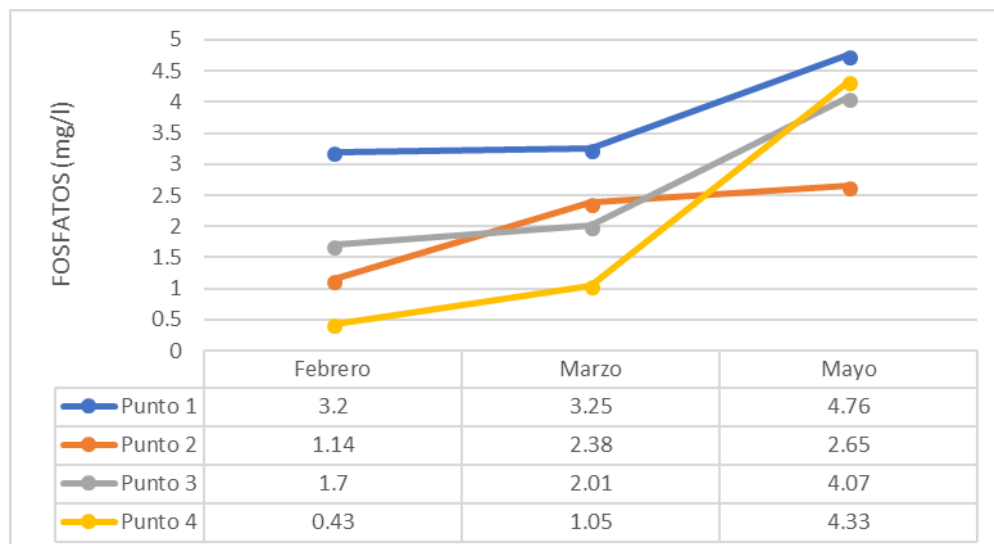


Ilustración 12: Concentraciones de fosfatos en puntos de muestreo durante época seca y lluviosa.
Fuente: Los autores.

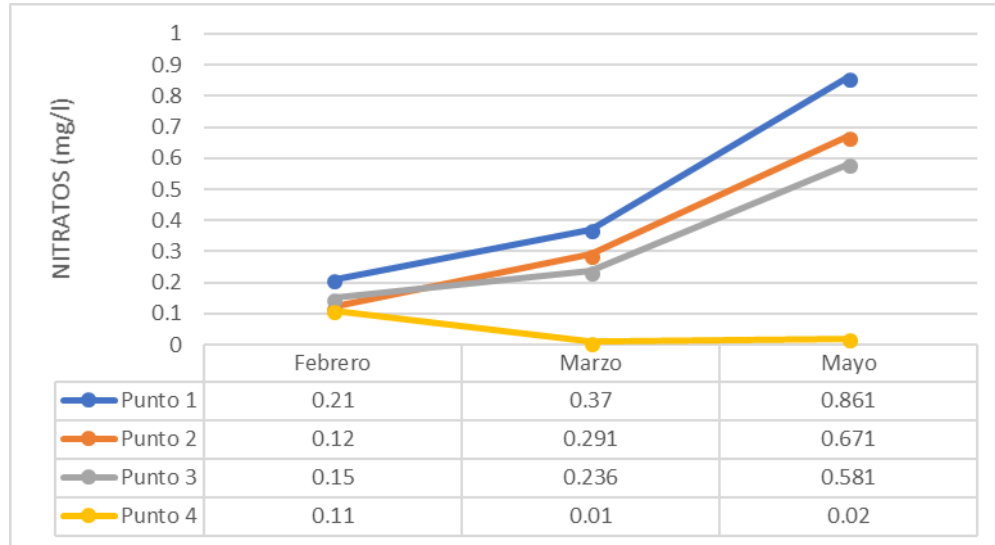


Ilustración 13: Concentraciones de nitratos en puntos de muestreo durante época seca y lluviosa.
Fuente: Los autores.

4.3. Plan de manejo para la recuperación ambiental del estero

Dado que el objetivo principal del proyecto es proponer un plan de manejo ambiental, en base a la matriz de importancia para impactos ambientales proponemos medidas para los recursos detallados a continuación:

4.3.1. Medidas de recuperación del recurso agua

Las medidas a tomar para la recuperación del recurso agua involucran directamente a las actividades que se desarrollan en las riberas del estero, de forma especial cuando éste atraviesa la zona poblada; es decir, es necesario plantear acciones que modifiquen el incorrecto accionar principalmente de las viviendas y actividades comerciales que aportan con descargas con elevadas concentraciones de contaminantes como subproductos de los procesos que realizan. Considerar, las siguientes alternativas:

Medida #1	Reubicación de las viviendas emplazadas en las riberas del estero
Impacto ambiental a manejar	<ul style="list-style-type: none"> Alteración de la calidad del agua en los parámetros DBO_5, sólidos totales, turbiedad, oxígeno disuelto y coliformes fecales por descargas directas de aguas residuales domésticas. Alteración de la calidad del agua en los parámetros de sólidos totales, DBO_5 y oxígeno disuelto por la introducción de residuos sólidos generados por la población.

	<ul style="list-style-type: none"> • Afección de la calidad de vida de la población por el desagradable paisaje y malos olores generados por los botaderos existentes en las riberas del estero. • Propagación de enfermedades de tipo gastrointestinal y sanguíneo en los habitantes por la proliferación de vectores (roedores e insectos) en el estero. • Reducción de contenido de oxígeno disuelto en el agua del estero por incremento de temperatura a causa de escasez de vegetación riparia.
Objetivos o metas	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir el volumen de aguas residuales domésticas vertidas directamente al estero mejorando la calidad del agua. • Proporcionar un tratamiento adecuado a las aguas residuales generadas en las viviendas reubicadas. • Ofrecer un mejor estilo de vida a las personas reubicadas.
Tipo de medida	Preventiva
Acciones a desarrollar	<p>Esta medida sea probablemente la más complicada y tardada en ejecutar debido a las interacciones sociales y a los esfuerzos económicos requeridos. Entre las acciones propuestas se encuentran:</p> <p style="text-align: center;">Legalizar lotes del cantón Machala</p> <p>Proveer las escrituras a terrenos y viviendas del cantón que aún no las posean y garantizar la legalización de los terrenos que no han sido ocupados en el cantón para tener solvencia jurídica en caso del establecimiento de construcciones no autorizadas.</p> <p style="text-align: center;">Levantamiento de información socio-económica de la población que vive en las riberas del estero</p> <p>Para esta acción se realizará una investigación sobre el estado de los asentamientos humanos en las riberas del estero mediante censo de la población para conocer la cantidad de personas y familias que residen en las orillas el estero, interés y predisposición en la reubicación de sus viviendas y ocupaciones laborales.</p>

Actualización de la cartografía de la ciudad

Mediante ortofotos zonificar uso y ocupación de suelo del cantón. Esta información es muy importante para conocer la ubicación de los asentamientos humanos irregulares y determinar los espacios disponibles para la reubicación.

Constitución de directiva de asentamientos irregulares

Establecer plazos de tiempo para que los asentamientos irregulares escojan sus representantes públicos, mismos que están presentes en los procesos de toma de decisiones para la reubicación de la población. Ofrecer mecanismos de participación social como conferencias, mesas redondas, debates, etc., entre las personas a ser reubicadas, las directivas y el municipio.

Elaboración de una nueva ordenanza municipal de uso de suelo y regularización de asentamientos humanos irregulares

A través de la elaboración de la ordenanza se busca determinar los diferentes espacios de uso de suelo del cantón, como áreas de uso agrícola, asentamientos urbanos, conservación y recuperación de manglar, áreas de amortiguamiento de cuerpos de agua, etc. Dentro de la ordenanza se deberá detallar también que se prohibirá la instalación de nuevas vías, construcciones y asentamientos humanos irregulares en las riberas de los cuerpos hídricos del cantón. De igual manera, se indicará que para las construcciones que existen actualmente en las futuras áreas de amortiguamiento de los recursos hídricos, se realizará un proceso de reubicación que será aprobado mediante consenso de la población involucrada. No se debe considerar como objeto de reubicación a patrimonio de la ciudad en caso de existir.

Elaborar propuesta de reubicación de la población

Esta propuesta dependerá ampliamente de la información que se haya obtenido con los procesos anteriores, no obstante, se recomienda que la zona de reubicación se encuentre en un área donde existan los servicios básicos y se permita la integración de la

	<p>población con el sistema urbano, considerando también la cercanía con las áreas de trabajo de la población.</p> <p>De igual forma, al ser Machala una ciudad que está alcanzando sus límites en la expansión urbana se sugiere estructuras verticales (edificios) para la reubicación de las personas, que cuenten con una infraestructura sostenible y use los rasgos arquitectónicos propios del cantón, garantizando la seguridad y tranquilidad de los residentes mediante una adecuada iluminación, saneamiento y fomento al deporte y educación.</p> <p>Es importante remarcar que estos proyectos se deben llevar a cabo mediante corresponsabilidad de los habitantes, mismos que deben tener conocimiento y participación en los proyectos que se van a ejecutar. También se deben realizar conferencias educativas abiertas sobre el desarrollo y crecimiento del cantón Machala.</p> <p style="text-align: center;">Ejecución de la reubicación de asentamientos humanos irregulares</p> <p>Efectuar la reubicación de la población de acuerdo a lo planificado. Considerar la entrega de las escrituras a los propietarios y los mecanismos adecuados para el cobro de tarifas justas por servicios básicos.</p>
Justificación	<p>En la última década, en América Latina se ha registrado una gran cantidad de pérdidas humanas, materiales y económicas, sobre todo en ciudades que entran en procesos acelerados de desarrollo. Parte de este crecimiento provoca que cierta fracción de la población se establezca en zonas propensas a fenómenos naturales y debido a las características inadecuadas de vivienda se incrementa su vulnerabilidad a deslizamientos e inundaciones (J. Hernández & Vieyra, 2010).</p> <p>El cantón Machala es un ejemplo claro de esta problemática, debido a que el establecimiento de personas en las riberas del estero El Macho, generó un cambio en el uso de suelo para asentamientos humanos causando la pérdida de la zona riparia reduciendo la capacidad de drenaje de los suelos (Granados, Hernández, & López, 2006). Incrementando significativamente el riesgo a inundaciones</p>

	<p>por una mayor fuerza en la escorrentía superficial en tiempos de lluvia (Montoya, Hernández, Castillo, Díaz, & Velasco, 2008).</p> <p>Una ordenanza que regule el uso de suelo del cantón y una propuesta para la reubicación de la población emplazada en la ribera del estero permitirá evitar pérdidas humanas y económicas por desastres naturales, evitar la contaminación directa hacia el cuerpo de agua y mejorar significativamente la estética de la ciudad.</p> <p>En el plan se recomienda el uso de estructuras verticales para la reubicación de la población emplazada en las riberas del estero El Macho, esto debido a que brindan numerosas ventajas, que se acrecientan considerando las condiciones de Machala. De acuerdo al estudio denominado “Una reflexión sobre el modelo urbano: Ciudad dispersa – ciudad compacta” (Chavoya, García, & Rendón, 2009) las estructuras verticales poseen las siguientes ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Favorecen la formación de un entorno que permita la relación e interacción social. • Incrementa la densificación de la población y, por ende, el ahorro de espacio en la ciudad y la conservación de tierras productivas. • Félix (2015) menciona que las estructuras verticales reducen las áreas que requieren de la instalación de servicios básicos como alumbrado, agua potable, alcantarillado, pavimentación, recolección de residuos sólidos, etc., causando la reducción de costos a largo plazo.
--	---

Medida #2	Construcción de sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales (PTAR) para el cantón Machala
Impacto ambiental a manejar	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración de la calidad del agua en los parámetros DBO₅, sólidos totales, turbiedad, oxígeno disuelto y coliformes fecales por descargas directas de aguas residuales domésticas. • Afección de la calidad de vida de la población por el desagradable paisaje y malos olores generados por las aguas residuales y los botaderos existentes en las riberas del estero.

	<ul style="list-style-type: none"> • Propagación de enfermedades de tipo gastrointestinal y sanguíneo en los habitantes por la proliferación vectores (roedores e insectos) en el estero.
Objetivos o metas	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar los parámetros de calidad del agua hasta niveles aceptables por la normativa ambiental.
Tipo de medida	Mitigación
Acciones a desarrollar	En el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Machala se encuentra contemplado el diseño de un sistema de plantas modulares para aguas residuales, así como la ampliación y mantenimiento de los sistemas de alcantarillado sanitario y drenaje pluvial, por lo que se deben continuar con dichos estudios y proyectos.
Justificación	En la actualidad, una gran cantidad de las aguas residuales del cantón Machala son descargadas directamente a los cuerpos de agua. Específicamente, en el estero El Macho se descarga el 62% de las aguas negras de toda la ciudad generando intensos problemas ambientales (como se observa en los resultados del ICA-NSF), sociales y económicos (GAD de Machala, 2018). Es debido a esto que es de suma importancia la implementación del sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales de la ciudad.

Medida #3	Programa de recolección de aceites usados
Impacto ambiental a manejar	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración de la calidad del agua por descarga de aceites y grasas provenientes de lavadoras de vehículos, lubricadoras y mecánicas.
Objetivos o metas	<ul style="list-style-type: none"> • Prevenir la eliminación directa de aceites usados al estero. • Proporcionar un tratamiento y disposición final adecuada para los aceites recolectados.
Tipo de medida	Preventiva y de control
Acciones a desarrollar	<p>Elaboración de una ordenanza municipal para la recolección y manejo de Aceites Usados</p> <p>A través de la elaboración de la ordenanza se busca evitar la eliminación inadecuada de estos residuos peligrosos. La ordenanza</p>

como mínimo debe establecer los siguientes aspectos:

Todos los establecimientos en donde se realice el cambio de aceite usado a vehículos deben adquirir tanques impermeables, resistentes y de fácil cerrado para el almacenamiento de dichos hidrocarburos. Estos contenedores deben además cumplir con ciertos requisitos como ventilación, señalización, facilidad de descarga de los vehículos al tanque y carga del tanque al vehículo de transporte de sustancias peligrosas.

Los establecimientos recolectores de aceites usados deberán tener planes de emergencia contra incendios y derrames de hidrocarburos. De igual manera, deberán establecer un protocolo de recolección de aceites de acuerdo a su infraestructura. Además, deberán contactar con la institución encargada de la recolección antes de que el contenedor se llene en su totalidad para realizar el transporte.

El municipio deberá contar con vehículos adecuados y conductores capacitados para el transporte de sustancias peligrosas de acuerdo a lo estipulado en la NTE INEN 2266:2013 para el transporte, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos (INEN, 2013b). Además, deberá desarrollar rutas para la recolección en base a la ubicación de los establecimientos recolectores que requieran el servicio.

También, mediante el establecimiento de un programa se debe garantizar una disposición final ambientalmente segura para los aceites usados. Se recomienda considerar procesos de co-producción o la entrega a gestores especializados en residuos peligrosos.

Identificación de los centros receptores de aceites usados de la ciudad

Mediante encuestas identificar los centros receptores de aceites usados de la ciudad e investigar la frecuencia de recolección, el tipo de vehículos y clase de aceites recolectados con mayor frecuencia.

Talleres de capacitación para recolectores de los aceites usados

Ejecución de campañas de capacitación al personal de los

	<p>establecimientos que realizan cambios de aceite para que conozcan sobre buenas prácticas ambientales y de seguridad laboral. De igual manera, brindar pautas adecuadas para que se logre correctamente la entrega de los aceites usados a los vehículos recolectores, como, por ejemplo: evitar el derrame de aceite al suelo, colocar el aceite usado de motor en un recipiente limpio de plástico que no haya sido usado para guardar otra sustancia química, comida o bebida, no mezclar o diluir los aceites, etc.</p> <p>Implementación del programa de aceites usados en la ciudad</p> <p>Adquisición de vehículos de transporte de sustancias peligrosas y realizar la firma de convenios con los gestores ambientales para la adecuada disposición final.</p> <p>Es necesario disponer de un formato general para facilitar registro de los recolectores y el municipio de los aceites usados de motor.</p>
Justificación	<p>Los aceites usados son considerados residuos peligrosos y tienen las siguientes implicaciones:</p> <p>La incorrecta disposición de aceites usados genera un impacto negativo en el ambiente, lo cual se ve respaldado por la siguiente información: Un galón de aceite usado tiene la capacidad de contaminar un millón de galones de agua y el volumen de aire que una persona respira en un período de tiempo de 3 años (GAD de Cuenca, 1998).</p> <p>El aceite modifica las propiedades físicas del suelo afectando la vida de microorganismos y el desarrollo de las plantas al causar dificultad en la acumulación de nutrientes y agua, disminución de oxígeno, bioacumulación de sustancias tóxicas en plantas, etc. (ETAPA EP, 2018).</p> <p>La correcta disposición de aceites usados se relaciona de forma directa con la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales puesto que este programa preventivo busca incrementar la eficiencia de las PTAR, asegurando su aprovechamiento y una disposición final adecuada al ser usado como combustible alternativo a nivel industrial (GAD de Cuenca, 1998).</p>

4.3.2. Medidas para control de residuos sólidos

Entre las medidas a tomar en cuenta para el correcto manejo de residuos sólidos se mencionan las siguientes:

Medida #1	Planificación y ejecución de un programa integral de recolección y manejo de residuos sólidos (municipales, aparatos eléctricos y electrónicos, pilas y baterías)
Impacto ambiental a manejar	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración de la calidad del agua en los parámetros de sólidos totales, DBO₅ y oxígeno disuelto por la introducción de residuos sólidos generados por la población. • Afección de la calidad de vida de la población por el desagradable paisaje y malos olores generados por las aguas residuales y los botaderos existentes en las riberas del estero. • Propagación de enfermedades de tipo gastrointestinal y sanguíneo en los habitantes por la proliferación de vectores (roedores e insectos) en el estero.
Objetivos o metas	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar el sistema de recolección y manejo de desechos sólidos. • Evitar el hacinamiento de residuos sólidos en los manglares de la costa de la ciudad. • Aprovechar las potencialidades de ciertos desechos para su uso y aprovechamiento en otras actividades. • Incrementar la cobertura de residuos recolectados por el sistema.
Tipo de medida	Preventiva, Mitigación
Acciones a desarrollar	<p>Caracterización de residuos sólidos en la ciudad de Machala</p> <p>Realizar una caracterización de residuos sólidos con el objetivo de identificar los desechos más frecuentes generados en la ciudad y poder plantear opciones viables de separación desde la fuente, y de ser rentable, aprovechar dichos residuos como materia prima para nuevos procesos productivos o co-generación. Esta acción se debe realizar mediante una caracterización de los residuos en los botaderos municipales.</p> <p>Conocer las características y la cantidad de residuos sólidos</p>

generados por una población representa un instrumento importante para la planificación y diseño de los sistemas a utilizar en los procesos de recolección, transporte, transferencia, tratamiento y disposición final (Sáez & Urdaneta G., 2014).

En el estudio realizado por Caizaguano & Quisnancela (2014), se menciona que para los países de América Latina y el Caribe, el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) recomienda seguir los siguientes pasos propuestos en el “Método sencillo de análisis de residuos sólidos”.

Metodología de caracterización:

Identificación del área de estudio

Permite determinar sectores con valores similares en la producción y particularidades de los desechos. En consecuencia, de acuerdo a su origen las zonas urbanas pueden ser clasificadas en: industriales, comerciales, residenciales, áreas públicas, etc.

Identificación de la población actual

Esta cifra es importante para conocer el número de muestras que se debe tomar en las viviendas.

Número de muestras

Establecer un número de muestras representativo va a permitir que los resultados obtenidos sean fiables y presenten un bajo porcentaje de error con respecto a la población universo.

Número de muestras para la determinación de Producción per Cápita (PPC)

Se debe tomar las muestras necesarias de acuerdo al tamaño de la población en los estratos sociales que involucren ingresos bajos, medios y altos.

Número de muestras para la determinación de la composición física de los residuos

Se debe tomar un número aleatorio de muestras para conocer el porcentaje de materiales que pueden ser aprovechados como: metales, plástico, papel, entre otros. La muestra será tomada de

acuerdo al porcentaje estimado del componente de interés, además, se debe considerar una cifra de error aceptable en la determinación del porcentaje del componente.

Distribución de la muestra

Se efectúa de acuerdo a la zonificación de los sectores considerando una asignación aproximada en número de muestras.

Determinación del punto de muestreo

Las muestras deben ser asignadas a generadores específicos previamente capacitados para que clasifiquen y almacenen los residuos de forma correcta.

Toma de muestras

Se toman y pesan las muestras en los puntos delimitados. El método indica que se debe realizar este proceso diariamente durante un período de ocho días.

Determinación de la producción per cápita

Se puede obtener para diferentes escenarios, es decir, por área, punto de muestreo y por habitante. El método recomienda realizar el análisis de forma inmediata debido a que no se conoce el tiempo de almacenamiento de la muestra.

Determinación de la composición física de los residuos

La determinación de la composición física de los residuos involucra el método del cuarteo para la selección de la muestra que va a ser analizada. Para la aplicación de este método el CEPIS recomienda ocupar una muestra de residuos de 1 m³ para cada área de estudio seleccionada. Esta muestra debe ser apilada en un espacio pavimentado. Luego se debe fraccionar los objetos grandes hasta un tamaño igual o inferior a 15 cm x 15 cm.

Posteriormente, en el método se menciona que se debe homogenizar los residuos hasta obtener un montón que va a ser dividido en cuatro partes de las cuales se obtiene una muestra representativa más pequeña al seleccionar dos partes opuestas del montón de residuos. Este proceso se repite hasta conseguir una muestra de residuos

igual o inferior a 50 Kg.

Los procesos de caracterización deben ser realizados con los debidos requerimientos de seguridad para el personal y con el permiso y apoyo del GAD municipal.

Estudio para la implementación del relleno sanitario

La implementación de un relleno sanitario en la ciudad de Machala permitirá disponer de manera adecuada los diferentes tipos de residuos generados, evitando la formación de botaderos de basura y la contaminación de compartimentos ambientales; favoreciendo la posibilidad de reciclaje de materiales y mejorando la cultura ambiental de la población.

Se debe determinar el área adecuada y la ubicación, considerando las condiciones biofísicas y sociales del territorio y todos los aspectos técnicos necesarios, mediante el análisis de información georreferenciada y verificaciones de campo. Además, se debe determinar el sistema de confinamiento y recuperación, en caso de ser factible, de plástico, papel, metal, aluminio y biogás en base a los resultados de la caracterización de residuos.

Elaboración de una nueva ordenanza que regule el manejo de desechos y su confinamiento

El establecimiento de la ordenanza va a permitir ejercer un mayor control en el manejo, transporte y disposición de residuos sólidos a través de las siguientes actividades:

- Estandarización de recipientes y bolsas plásticas (en caso de que se decidan necesarias) por colores para la separación desde la fuente de la basura y conseguir su almacenamiento de forma eficiente.
- Ubicación de señalética correspondiente para los recipientes recolectores de residuos (desechos comunes, reciclables, peligrosos, infecciosos, etc.) de acuerdo a la clasificación que se haya obtenido en la caracterización de residuos.
- La ordenanza debe incluir el manejo que será proporcionado a los recipientes de productos químicos usados en actividades agrícolas, de producción de camarón y residuos

biopeligrosos del cantón.

- Detallar las frecuencias de recolección de residuos sólidos de acuerdo a las características de generación en los diferentes sectores de la ciudad y todas las medidas de seguridad para el personal recolector de residuos como el uso de guantes largos de materiales anticorte y antiperforación, calzado que permita la absorción de impactos, mascarillas y uniformes limpios.
- Establecer los diferentes mecanismos de control de la ordenanza, así como las sanciones para los ciudadanos que cometan infracciones con respecto a la disposición de residuos sólidos.
- Promover el desarrollo de programas con incentivos para entidades que logren un manejo adecuado de residuos sólidos. Un ejemplo de ello pueden ser concursos de reciclaje en centros de educación primaria y secundaria.
- Incluir los aspectos considerados en la ordenanza que maneja la recaudación de la tasa de recolección de basura.

Creación de centros receptores de pilas, baterías, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en la ciudad

La empresa de aseo de la ciudad deberá contar con una unidad encargada de la recolección y disposición final de pilas, baterías, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, misma que será encargada de instruir a la población e identificar zonas estratégicas para la recolección y acopio para su posterior disposición, todo esto se llevará a cabo de acuerdo a los lugares que presenten mayor concurrencia con el fin de brindar la mayor facilidad a la ciudadanía.

Delegación de organismos de control responsables

Los organismos de control serán las autoridades encargadas de brindar asesoría y verificar el correcto cumplimiento de los mecanismos y las normas establecidas para la recolección y disposición final de residuos sólidos.

	<p style="text-align: center;">Proyecto de educación ambiental</p> <p>Establecer un programa de educación ambiental dirigido a todos los actores involucrados en el adecuado manejo de residuos sólidos, fomentando la separación de los mismos desde casa de acuerdo a lo determinado por el estudio de caracterización. Para ello, se puede seguir la metodología empleada por Robles, Gasca, Quintanilla, Guillén, & Escofet (2010) en el Distrito Federal de México (véase anexo F).</p>
Justificación	<p>Durante los recorridos realizados a lo largo de la zona de estudio se pudo evidenciar la existencia de botaderos de basura improvisados, los cuales generan olores desagradables en la población que habita o desarrolla sus actividades de trabajo u ocio en zonas cercanas al estero. Además, la presencia de los desechos en zonas no controladas provoca que animales asilvajados como perros y gatos rompan las fundas plásticas y dispersen los residuos incrementando la presencia de insectos y roedores.</p> <p>La mala disposición de desechos de componentes eléctricos y electrónicos aporta sustancias tóxicas al compartimento ambiental en que se encuentren puesto que entre sus componentes poseen bifenilos policlorados, éteres bifenílicos polibromados y algunos metales pesados como el mercurio, cadmio, plomo, etc. Además, estos residuos poseen materiales que al ser quemados a cielo abierto generan contaminantes orgánicos persistentes como es el caso de las dioxinas y furanos (Aguilera, 2010).</p> <p>Al no existir un manejo y disposición adecuada de pilas y baterías se produce un riesgo potencial de contaminación con metales pesados en fuentes de agua superficial y subterránea utilizadas para riego agrícola. El níquel, cobalto y cadmio; presentan elevado nivel de toxicidad que al formar parte de los lixiviados que se generan en los botaderos de basura causan peligro al medio ambiente y a la salud de la población que de alguna manera puede ser afectada través de diferentes rutas de exposición (Arrieta & Luján, 2007).</p> <p>La ejecución de las medidas de recuperación antes mencionadas tiene como finalidad aumentar la cantidad de oxígeno disuelto y</p>

	reducir los elevados niveles de DBO causados por la presencia de residuos sólidos en el agua. De esta forma se pretende mejorar el nivel de calidad de agua para favorecer las condiciones en que habita la biodiversidad acuática del estero, además, se busca disminuir la intensidad de olores desagradables causada por la descomposición de la materia orgánica.
--	---

4.3.3. Medidas para recuperación de biodiversidad

Las medidas para la recuperación de la biodiversidad se detallan a continuación:

Medida #1	Reforestación de riberas del estero y zonas de manglar con vegetación nativa.
Impacto ambiental a manejar	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de contenido de oxígeno disuelto en el agua del estero por incremento de temperatura a causa de escasez de vegetación riparia. • Afección de la calidad de vida de la población por el desagradable paisaje y malos olores generados por las aguas residuales y los botaderos existentes en las riberas del estero. • Propagación de enfermedades de tipo gastrointestinal y sanguíneo en los habitantes por la proliferación de vectores (roedores e insectos) en el estero.
Objetivos o metas	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementar la cohesión del suelo en las riberas del estero para evitar deslizamientos de tierra. • Contribuir con la mejora de la calidad de agua del estero. • Reducir los impactos socio-económicos causados por las inundaciones en épocas lluviosas.
Tipo de medida	Prevención, mitigación
Acciones a desarrollar	<p>Elaboración de una nueva ordenanza municipal para la protección de áreas de manglar y riberas de los cauces hídricos.</p> <p><u>De los manglares:</u></p> <p>Mediante la elaboración de una ordenanza municipal se pretende regular las actividades camaroneras que se desarrollan en la ciudad y evitar que las áreas de manglar sean intervenidas con el</p>

establecimiento de nuevas piscinas, además se busca la recuperación de zonas degradadas o que hayan sido invadidas para actividades ilegales. Para la determinación de las áreas de protección y recuperación de manglar se debe hacer uso de sistemas de información geográfica, catastro rural y levantamiento de campo.

Esta ordenanza debe contemplar el desarrollo de obligaciones y restricciones para las camaroneras situadas en todo el perfil costanero del cantón con la finalidad de evitar la implantación ilegal de nuevas piscinas y lograr el retiro de aquellas que no cuenten actualmente con los debidos requisitos.

De la vegetación de ribera:

Para determinar la distancia ideal a ser reforestada se debe realizar un análisis previo al proceso de siembra de especies vegetales en la zona de estudio. En el caso de no poder realizar un análisis específico se reforestará una distancia mínima de 15 m de ancho desde cada orilla del estero con la posibilidad de ampliar esta extensión si las condiciones urbanas lo permiten. Es adecuado emplear el método de siembra tresbolillo para zonas en que el espacio disponible para la siembra sea reducido.

El cuidado y mantenimiento de las áreas verdes urbanas será competencia exclusiva del municipio de Machala. La ordenanza también deberá establecer sanciones en caso de irregularidades como: tala o poda de árboles, quema de la vegetación, pastoreo, daños a la infraestructura pública, etc.

Ejecución del programa de reforestación de riberas y zonas de manglar

Para la reforestación de riberas y zonas de manglar es necesario seguir los lineamientos propuestos por el MAE para definir los siguientes aspectos:

- Adquisición de materiales y suministros para el proceso de reforestación.
- Formación y capacitación de responsables de reforestación.

	<ul style="list-style-type: none"> • Especies vegetales adecuadas para siembra. <p>De acuerdo a las especies vegetales mencionadas en el PDOT del Cantón Machala las más adecuadas para la zona de estudio son:</p> <p>Áreas de manglar: <i>Rhizora harrizonii</i>, <i>Rhizora mangle</i>, <i>Avicennia germinans</i>, <i>Mimosa acantholoba</i>.</p> <p>Zonas de ribera: <i>Hibiscus tillaceus</i>. Tener en cuenta que se debe realizar un análisis con mayor profundidad de la vegetación adecuada para la reforestación en función de las especies nativas del cantón.</p> <p style="text-align: center;">Talleres de socialización para el cuidado y manejo de áreas verdes y zonas de manglar</p> <p>Realizar capacitaciones a asociaciones productoras de camarón y sociedad en general para que tengan conocimiento de la importancia que brinda el cuidado de áreas verdes y zonas de manglar en el equilibrio natural y prevención de desastres, así como la importancia intrínseca que involucra el control de fauna y flora urbana.</p>
<p>Justificación</p>	<p>El manejo inadecuado de recursos naturales, como es el caso de la destrucción de los ecosistemas de manglar para la construcción de piscinas camaroneras afecta el equilibrio natural de las especies que se desarrollan en ese entorno. En efecto, se debe recuperar y proteger las zonas de manglar considerando la importancia que representan al prestar las siguientes funciones ecológicas y servicios ambientales mencionados por Gaxiola & Ximhai (2011) y Yáñez, Twilley, & Lara (1998):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Son hábitat de una extensa variedad de flora y fauna silvestre. • Constituyen una fuente de alimento y refugio para peces, crustáceos y moluscos. • Aportan gran cantidad de nutrientes a las aguas marinas costeras favoreciendo el desarrollo y posterior captura de especies de peces de interés comercial. • Contribuyen con el proceso de biorremediación de la contaminación marina. • Son usados como lugares de descanso y reproducción de

aves acuáticas.

- Ayudan con la atenuación de contaminantes provenientes de ecosistemas adyacentes.
- Controlan los procesos de erosión y favorecen la estabilidad de las zonas costeras.
- Facilitan el proceso de transformación de nutrientes, lo que permite mejorar la calidad del agua.
- Retienen gran cantidad de sedimentos en sus raíces.

La vegetación ribereña también ayuda al cuidado y protección de cuerpos de agua; Gayoso (2003) y Granados et al. (2006) mencionan algunas ventajas que proporciona una zona riparia:

- Capturan cierta cantidad de los elementos fósforo y nitrógeno que se generan en cultivos agrícolas y que posteriormente son transportados hacia cuerpos de agua mediante la escorrentía.
- Proporcionan sombra, lo que ayuda a reducir la temperatura del agua en épocas muy calurosas.
- Estabilizan el suelo, reduciendo los riesgos de deslizamientos y erosión en las orillas.
- Constituyen el cimiento de la cadena alimenticia de los cuerpos de agua, aportando materia orgánica que sirve como fuente de energía para peces y otros organismos acuáticos.
- Remueven contaminantes como pesticidas usados en actividades agropecuarias.
- Reducen el riesgo de inundaciones en épocas de invierno.
- Mejoran la imagen del estero y proporcionan oportunidades de esparcimiento social.

Como parte de la planificación y ejecución del programa de reforestación, la bibliografía científica indica que el ancho mínimo recomendado para el área de vegetación ribereña varía desde 15 a 30 metros (Granados et al., 2006). Sin embargo, otros factores que se deben considerar para establecer el ancho que deben tener las áreas de amortiguamiento o zonas de ribera corresponden a las condiciones específicas del área de estudio, es decir, basándose en parámetros como: topografía, tipo de suelo, hidrología, meteorología,

	<p>etc. (Gayoso, 2003).</p> <p>La aplicación de las medidas antes propuestas serán de gran ayuda para el cumplimiento del índice verde urbano (2 m²/hab) propuesto en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Machala. Además, se busca recuperar las barreras de vegetación natural para amortiguar los efectos destructivos causados por fenómenos naturales y reducir el riesgo a inundaciones en las personas que habitan en los márgenes costeros de la ciudad de Machala.</p> <p>En definitiva, serán de ayuda en el fortalecimiento del turismo y otras actividades económicas que se encuentran directamente relacionadas al estero.</p>
--	---

4.3.4. Medidas de mejora social

Medida #1	Construcción de infraestructura para recreación y protección social.
Impacto ambiental a manejar	<ul style="list-style-type: none"> • Afección de la calidad de vida de la población por el desagradable paisaje y malos olores generados por las aguas residuales y los botaderos existentes en las riberas del estero. • Propagación de enfermedades de tipo gastrointestinal y sanguíneo en los habitantes por la proliferación de vectores (roedores e insectos) en el estero.
Objetivos o metas	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar la práctica de deportes al aire libre para mejorar la calidad de vida de la población. • Mejorar la estética de la ciudad, incentivar el turismo.
Tipo de medida	Preventiva, Compensación
Acciones a desarrollar	<p>Educación en el ámbito ambiental y de salud</p> <p>Mediante capacitaciones que hagan conocer los impactos que se generan al contaminar el estero a través de las diferentes actividades desarrolladas y el riesgo al que se encuentra sometida la población en caso de entrar en contacto con el agua de El Macho.</p> <p>Construcción de áreas para uso recreativo</p> <p>Esta medida pretende establecer una pista para peatones y ciclistas</p>

	<p>debidamente señalizada e iluminada a lo largo del estero en tramos cuyo espacio permita además la construcción de pequeños parques y canchas deportivas que cuenten con sillas de descanso, recipientes para depósito basura, barandas de protección en zonas susceptibles a caídas y puntos de encuentro en caso de suscitarse desastres naturales. Las plantas ornamentales serán parte de las áreas verdes de la zona como parte del embellecimiento escénico del lugar.</p>
Justificación	<p>La población es consciente de que existe contaminación en el estero El Macho, sin embargo, se necesita brindar capacitaciones de las medidas que se deben tomar para evitar que su salud se vea afectada. Los temas que se puede abordar son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Riesgos de entrar en contacto directo con el agua del estero. • Lavado adecuado de manos. • Lavado y preparación correcta de alimentos. • Mecanismos de prevención contra animales rastreros e insectos transmisores de enfermedades. • Estrategias para reducir la contaminación del estero.

4.3.5. Tabla resumen de medidas de manejo

Medidas recomendadas en el plan de manejo
Acciones a ejecutarse a corto plazo (tiempo menor a un año)
<p>Agua:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Legalizar lotes del cantón Machala. • Levantamiento de información socio-económica de la población que vive en las riberas del estero. • Constitución de directiva de asentamientos irregulares. • Elaboración de una nueva ordenanza municipal de uso de suelo y regularización de asentamientos humanos irregulares. • Elaboración de una ordenanza municipal para la recolección y manejo de aceites usados. • Identificación de los centros receptores de aceites usados de la ciudad.

Residuos sólidos:

- Caracterización de residuos sólidos en la ciudad de Machala.
- Estudio para la implementación del relleno sanitario.
- Elaboración de una nueva ordenanza que regule el manejo de desechos y su confinamiento.

Biodiversidad:

- Elaboración de una nueva ordenanza municipal para la protección de áreas de manglar y riberas de los cauces hídricos.
- Talleres de socialización para el cuidado y manejo de áreas verdes y zonas de manglar.

Social:

- Educación en el ámbito ambiental y de salud.

Acciones a ejecutarse a mediano plazo (de uno a cinco años)**Agua:**

- Actualización de la cartografía de la ciudad.
- Elaborar propuesta de reubicación de la población.
- Talleres de capacitación para recolectores de aceites usados.
- Implementación de programa de aceites usados en la ciudad.

Residuos sólidos:

- Creación de centros receptores de pilas y baterías en la ciudad.
- Delegación de organismos de control responsables.
- Proyecto de educación ambiental.

Acciones a ejecutarse a largo plazo (de cinco a diez años)**Agua:**

- Ejecución de la reubicación de asentamientos humanos irregulares.
- Construcción de sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales para el cantón Machala.

Social:

- Construcción de áreas para uso recreativo.

5. DISCUSIÓN

Amorocho (2010), en su estudio “La construcción de asentamientos humanos precarios en zonas de inundación y la conservación de cauces de río”, los asentamientos humanos de hecho en zonas altamente vulnerables a inundaciones como las riberas de ríos y esteros son comunes en países que se encuentran en vías de desarrollo. Esto es consecuencia de los procesos de migración desde el campo hacia la ciudad, así como del crecimiento poblacional, en donde la pobreza, inseguridad social, deficiencia de servicios básicos y condiciones ambientales deplorables constituyen un factor en común con las encontradas en la zona de estudio.

En Latinoamérica, la etapa de fragmentación y transformación urbana muestra que el crecimiento periférico en pequeñas y medianas ciudades es un proceso constante, caracterizado por asentamientos poblacionales con irregularidades en la posesión de terrenos (J. Hernández & Vieyra, 2010). La ciudad de Machala y más específicamente el estero El Macho son ejemplos claros de las consecuencias socioambientales de estos fenómenos de crecimiento poblacional, viéndose reflejados en los resultados del Índice de Calidad del Agua.

Se examinó la aplicación del ICA-NSF en otros países, pero no se logró hallar estudios donde la calidad del agua llegue a niveles de calidad tan precarios, sobre todo en los parámetros de coliformes fecales y oxígeno disuelto. En los estudios realizados por Hoseinzadeh, Khorsandi, Wei & Alipour (2015); Pérez & Álvarez (2018); Javid, Yaghmaeian, Abbasi & Roudbari (2014) e Islam, Rasul, Alam & Haque (2010) la calidad del agua es evaluada como “Media”, es decir, con valores, comprendidos entre 51 y 70. Por otro lado, en los estudios de Khadse, Patni & Labhasetwar (2016) y Effendi, Romanto & Wardiatno (2015) se registraron resultados del índice entre 71 y 90, siendo la calidad del agua expresada como “Buena”.

A nivel nacional, solo se han registrado dos cuerpos de agua con una calidad “Mala” utilizando la metodología del ICA-NSF, siendo estos el río Portoviejo (Quiroz, Izquierdo, & Menéndez, 2017) y la quebrada Yaznán (Cuaspud & Paredes, 2017). En ambos recursos hídricos, la descarga directa de aguas servidas ejerce gran influencia en la calidad del agua, incrementando los niveles de parámetros como coliformes fecales, DBO y fosfatos; con gran similitud a lo que sucede en el estero El Macho.

Ramírez (2017), en el estudio “Determinación de cadmio y plomo en agua y sedimento del estero El Macho de la ciudad de Machala”, menciona que estos elementos

exceden los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental ecuatoriana (hasta en 10.6 veces en el caso del cadmio) por lo que el cuerpo de agua se considera contaminado con metales pesados. De igual forma, el sedimento del estero se ve afectado por las altas concentraciones de cadmio y plomo que superan incluso normativas internacionales.

Las medidas de recuperación ambiental planteadas en el presente estudio se complementan con los estudios realizados en diferentes cuerpos hídricos de la ciudad de Machala en donde se propone planes de manejo ambiental encaminados al correcto tratamiento de aguas residuales, residuos sólidos y recuperación de zonas de manglar, de esta manera Rodríguez & Alvarado (2015) proponen un plan de manejo ambiental en base a metales pesados en el Estero Huaylá, Ramírez (2017) presenta un plan de control dirigido a las fuentes de descargas realizadas hacia el estero El Macho, Romero (2016) plantea medidas de recuperación de manglares en la ciudad de Machala y Moscoso (2016) establece una propuesta para fomentar el reciclaje y reutilización de materiales en sectores circundantes al estero El Macho.

En cuanto a la calidad del agua del estero, los parámetros más preocupantes son dos: las coliformes fecales, que al tener valores extremos de hasta 2.2×10^8 NMP/100 ml convierten a este cuerpo hídrico en un peligro para la salud de la población; y el oxígeno disuelto, mismo que al presentar valores inferiores a 4 mg/l permite que se generen condiciones anaeróbicas en el agua perjudicando su estética, biodiversidad y generando malos olores (Mihelcic & Zimmerman, 2011).

6. CONCLUSIONES

Los impactos más perjudiciales evaluados mediante la matriz de importancia corresponden a la alteración de la calidad del agua por la descarga directa de aguas residuales domésticas y por la presencia de residuos sólidos introducidos por la población. Estos impactos se ven reflejados en los resultados del ICA donde la incidencia de los niveles de oxígeno disuelto, DBO_5 y coliformes fecales, reducen la calidad del agua.

Salvo por el resultado del ICA en el cuarto punto de muestreo de la primera campaña, la calidad del agua del estero El Macho oscila entre “Mala” y “Muy mala”. Cabe recalcar que incluso durante la época lluviosa la calidad del agua no mejoró sustancialmente.

El único parámetro que no cumple con los establecidos en la normativa ambiental vigente es el de coliformes fecales, pero es importante mencionar que la misma no establece límites máximos permisibles de otros parámetros que pueden modificar ampliamente la calidad del agua, como lo son el oxígeno disuelto, los nitratos y los fosfatos.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el agua del estero El Macho presenta problemas de contaminación, mismos que dificultan la existencia de biodiversidad. En particular, en las tres campañas de muestreo ejecutadas, la calidad del agua en el tercer punto corresponde a la categoría “Muy mala” por lo cual se puede mencionar que en este punto el agua no debe ser utilizada para actividades que involucren contacto físico; mientras que en los otros puntos de muestreo la calidad del agua es generalmente “Mala” razón por la cual los usos que actualmente posee el agua son nulos.

El ICA-NSF fue una herramienta adecuada para clasificar al agua de acuerdo a su calidad en el presente estudio y brindar una idea acertada a los tomadores de decisiones sobre los problemas de contaminación que puedan existir.

Entre las principales medidas para la recuperación del estero se propone la elaboración de ordenanzas municipales, por lo que es de suma importancia que se sumen esfuerzos entre las autoridades y la población para que se logre llevar un control adecuado en dichas disposiciones y consecuentemente, prevenir y mitigar futuros impactos ambientales.



La construcción del alcantarillado sanitario y las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser considerados proyectos prioritarios en el cantón Machala, puesto que constituyen un cimiento en la recuperación de la calidad de agua del estero. Ejecutar estos proyectos de forma conjunta con las medidas planteadas en el plan de manejo ayudará a alcanzar el equilibrio de los ejes considerados en el concepto de desarrollo sostenible.

Gran parte de las medidas propuestas en el plan de manejo ambiental deben ser aplicadas a zonas del cantón Machala que presentan características similares a las condiciones ambientales encontradas en el área de estudio. Las medidas propuestas para el manejo de residuos son aplicables para todo el cantón puesto que actualmente carece de un sistema que funcione de forma eficiente.

En la actualidad el estero El Macho, debido a su estado de degradación, origina un sentimiento de rechazo por parte de la población del cantón Machala puesto que al atravesar los límites urbanos de la ciudad afecta la calidad del paisaje.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda analizar los niveles de contaminación del estero considerando los caudales durante las estaciones de invierno y verano, para establecer una comparación del comportamiento de los contaminantes en función de un volumen exacto de agua en las diferentes épocas del año.

Analizar la eficiencia de la planta de oxidación de aguas residuales de la ciudadela “La Katia”. Esta ciudadela está formada por la reubicación de las viviendas de determinado número de familias que en primera instancia se encontraban establecidas en las riberas del estero El Macho. El agua residual generada es previamente tratada en una planta de oxidación para luego ser descargada hacia el estero, por lo que se hace indispensable conocer la eficiencia de tratamiento de la planta para ofrecer una correcta operación y mantenimiento en el caso de la existencia de fallos.

Se debe coordinar acciones entre el GAD municipal y los organismos de seguridad ciudadana, de tal manera que faciliten el acceso y garanticen la seguridad de los investigadores durante las visitas de campo y toma de muestras para futuras investigaciones en el estero, puesto que por motivos de inseguridad se dificulta ingresar a ciertas zonas estratégicas atravesadas por el estero, especialmente durante el levantamiento de información.

El notorio incremento de las concentraciones de nitrógeno y fósforo durante la época de lluvias se puede atribuir a un mal uso y disposición de agroquímicos usados en el cultivo de banano, por lo que se recomienda también realizar un estudio de ello.

Debido a la deplorable calidad del agua, es recomendable que el municipio tome medidas inmediatas para preservar la seguridad de la población, ya sea mediante charlas de temas concernientes a la salud o prohibiendo el acceso de la población al estero.

Coordinar acciones y campañas de educación ambiental y de salud entre el GAD municipal, Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Salud Pública.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, L. H. (2010). La basura electrónica y la contaminación ambiental. *Enfoque UTE*, 1(1), 46–61. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v1n1.16>
- Alaña, T., Capa, L., & Sotomayor, J. (2017). Desarrollo sostenible y evolución de la legislación ambiental en las MIPYMES del Ecuador. *Universidad y Sociedad*, 8(3), 91–99.
- Albany, N. (1969). *Manual of instruction for sewage treatment plant operators*. New York: New York State Department of Health.
- Amorocho, A. (2010). La construcción de asentamientos humanos precarios en zonas de inundación y la conservación de cauces de río. *PROSPECTIVA. Revista de Trabajo Social e Intervención Social*, (15), 295–328. <https://doi.org/10.25100/prts.v0i15.1113>
- Armijos, L. (2010). *Contaminación del agua de consumo humano en la ciudad de Machala y sus implicaciones jurídico ambientales*. Universidad Técnica Particular de Loja, Machala. Recuperado de <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/10200/1/Tesis%20Lucio%20Armijos%20M.pdf>
- Arrieta, J., & Luján, M. (2007). Caracterización de la generación y evaluación de riesgos de las pilas y baterías en desuso en la Ciudad de Cochabamba. *Acta Nova*, 3(4), 627–659.
- Asanza, C. (2016). Estudio del impacto ambiental del proyecto Ex post “Planta de Asfalto Municipal, del cantón Machala”. Recuperado de <https://maeeloro.files.wordpress.com/2016/04/borrador-del-e-i-a-ex-post-del-proyecto-e2809coperac3b3n-de-la-planta-procesadora-de-mezcla-asfaltica-del-cantc3b3n-machala-provincia-de-el-oroe2809d.pdf>
- Aznar, A. (2000). Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las Aguas, 2, 12–19.
- Brown, R., McClelland, N., Deininger, R., & Tozer, R. (1970). A Water Quality Index—Do We Dare, (Presentado en: National Symposium on Data and Instrumentation for Water Quality Management, July 1970), 364–383.
- Cabrera, H. (1975). Origen y transporte de sedimentos en estuarios. *Ciencias Marinas*, 2(1), 106–114. <http://dx.doi.org/10.7773/cm.v2i1.264>.
- Caizaguano, D., & Quisnancela, E. (2014). *Aprovechamiento y Potencial Energético de los Desechos Sólidos Urbanos Generados en el Cantón Guayaquil, en Base a su Identificación y Caracterización*. Escuela Superior Politécnica del Litoral,



- Guayaquil. Recuperado de
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/32245>
- Carrillo, J. (2013). *Análisis geoestadístico de los índices de calidad del agua y su representación cartográfica en el río armería, en el periodo comprendido desde el año 2000 al 2006*. Universidad de Colima, Colombia. Recuperado de
http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/TESIS%20RAUL%20CARRILLO%20-%20MAESTRIA%20EN%20CIENCIAS%20DE%20LA%20TIERRA.pdf
- Carrillo, M. S., & Urgilés, P. D. (2016). *Determinación del índice de calidad de agua ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindilig*. Universidad de Cuenca. Recuperado de
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23518/1/tesis.pdf>
- Chalarca, D., Mejía, R., & Aguirre, N. (2007). Aproximación a la determinación del impacto de los vertimientos de las aguas residuales domésticas del municipio de Ayapel, sobre la calidad del agua de la ciénaga. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (40), 41–58.
- Chavoya, J. I. C., García, J. G., & Rendón, H. J. R. (2009). Una reflexión sobre el modelo urbano: Ciudad dispersa - ciudad compacta, 14.
- Consortio Neoambiente. (2006). Línea Base Ambiental de la Provincia de El Oro, (Programa de manejo de recursos Costeros), 167.
- Corona, H. (1976). *Manual de aguas para usos industriales* (Tercera). Philadelphia: Limusa.
- Cuaspad, E., & Paredes, K. (2017). *Determinación del índice de calidad del agua de la quebrada de Yaznán, Río Blanco, Río Puluvi y Río Guachalá del Cantón Cayambe*. Quito.
- Effendi, H., Romanto, & Wardiatno, Y. (2015). Water Quality Status of Ciambulawung River, Banten Province, Based on Pollution Index and NSF-WQI. *Procedia Environmental Sciences*, 24, 228–237.
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.030>
- Espinoza, G. (2002). *Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental*. Recuperado de <http://www.ced.cl/ced/wp-content/uploads/2009/03/gestion-y-fundamentos-de-eia.pdf>
- ETAPA EP. (2018). Programa de Recolección y Disposición de Aceites Usados. Recuperado el 4 de junio de 2018, de <http://www.etapa.net.ec/Productos-y-servicios/Gesti%C3%B3n-ambiental/Gesti%C3%B3n-de-Desechos-y-Calidad-Ambiental/Programa-de-Recolecci%C3%B3n-y-Disposici%C3%B3n-de-Aceites-Usados>



- Félix, A. de M. (2015). Impactos de crecimiento vertical en la expansión de la zona conurbada de Querétaro, 184.
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial, 11(Química viva), 147–170.
- Fernández, N., & Solano, F. (2005). *Índices de Calidad y de Contaminación del Agua*. Recuperado de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/vinci2013/pag_contenido/02042013/sub_editorial.jsp
- Fernández, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental* (Vol. Cuarta Edición). Ediciones Mundi-Prensa.
- Florido, B. A. (2015). Evaluación del impacto ambiental en la construcción de la doble calzada Girardot-Ibague sobre la avifauna en el municipio de Ibague - Tolima, (Maestría en gestión ambiental), 115.
- GAD de Cuenca. (1998). Recolección de aceites usados en el Cantón Cuenca.
- GAD de Machala. (2011). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Machala - Resumen Ejecutivo*. Machala. Recuperado de PDOT del cantón Machala
- GAD de Machala. (2018). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Machala.
- Gaxiola, J. M. D., & Ximhai, R. (2011). Una revisión sobre los manglares: Características, problemáticas y su marco jurídico. Importancia de los manglares, el daño de los efectos antropogénicos y su marco jurídico: Caso sistema lagunar de Topolobampo., 7, 17.
- Gayoso, J. (2003). Diseño de zonas ribereñas: Requerimiento de un ancho mínimo, 12.
- Glynn, H., Heinke, G., & García, H. (1999). *Ingeniería ambiental* (Segunda). México: Pearson Educación.
- Gonzaga, S., Castro, N., López, G., Arsenio, N., Calvajar, L., & Antonio, G. (2017). El abasto de agua potable y la salud comunitaria: Machala, Ecuador. Estudio de caso. *Revista Universidad y Sociedad*, 9(1), 218–223.
- Granados, D., Hernández, M., & López, G. (2006). Ecología de las Zonas Ribereñas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 12(1). Recuperado de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=62912107>
- Hernández, F., Nolasco, E., & Salguero, M. (2016). *Determinación del índice de calidad del agua NSF y modelación del cromo hexavalente en la parte alta del río Suquiapa, Santa Ana, El Salvador*. Universidad de El Salvador, San Salvador. Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv/11070/>

- Hernández, J., & Vieyra, A. (2010). Riesgo por inundaciones en asentamientos precarios del periurbano. Morelia, una ciudad media mexicana. ¿El desastre nace o se hace? *Revista de geografía Norte Grande*, (47), 45–62. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022010000300003>
- Higgs, E. (1997). What is Good Ecological Restoration? *Conservation Biology*, 11(2). <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1997.95311.x>
- Hoseinzadeh, E., Khorsandi, H., Wei, C., & Alipour, M. (2015). Evaluation of Aydughmush River water quality using the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI), River Pollution Index (RPI), and Forestry Water Quality Index (FWQI). *Desalination and Water Treatment*, 54(11), 2994–3002. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.913206>
- Huang, C.-L., Yu, C.-P., Lin, T., & Ye, Z. (2016). Water conservation significance of municipal solid waste management: a case of Xiamen in China. *Journal of Cleaner Production*, 129, 693–703. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.062>
- INEN. (1998). NTE INEN 2176: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo, *Primera Edición*, 17.
- INEN. (2000). NTE INEN 2226: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestreo, 23.
- INEN. (2013a). NTE INEN 2169: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras, *Primera Edición*, 26.
- INEN. (2013b). Transporte, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos. Recuperado de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/NTE-INEN-2266-Transporte-almacenamiento-y-manejo-de-materiales-peligrosos.pdf>
- Isch, E. (2011). Foro de los recursos hídricos: Contaminación de las aguas y políticas para enfrentarla. Recuperado de <http://www.camaren.org/documents/contaminacion.pdf>
- Islam, S., Rasul, T., Alam, J. B., & Haque, M. A. (2010). Evaluation of Water Quality of the Titas River Using NSF Water Quality Index. *Journal of Scientific Research*, 3(1), 151. <https://doi.org/10.3329/jsr.v3i1.6170>
- Javid, A., Yaghmaeian, K., Abbasi, E., & Roudbari, A. (2014). AN EVALUATION OF WATER QUALITY FROM MOJEN RIVER, BY NSFWQI INDEX. *Journal of Ecological Engineering*, 15(4), 1–6. <https://doi.org/10.12911/22998993.1125451>
- Jiménez, M., & Vélez, M. (2006). Análisis comparativo de Indicadores de la calidad de agua superficial, 14(Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín), 53–71.



- Khadse, G. K., Patni, P. M., & Labhasetwar, P. K. (2016). Water quality assessment of Chenab river and its tributaries in Jammu Kashmir (India) based on WQI. *Sustainable Water Resources Management*, 2(2), 121–126. <https://doi.org/10.1007/s40899-016-0046-7>
- Lalangui, J., & Palas, N. (2018). Environmental impact for vacuums in public policies, which generates degradation of soils and ecosystems. City of Machala, an ecuadorian case., 10, 6.
- Larrea, C. (1996). *La geografía de la pobreza en el Ecuador*. Secretaría Técnica del Frente Social.
- López, M. (2015). *Análisis físico-químico de la calidad del agua en el canal El Macho de la ciudad de Machala*. Universidad Técnica de Machala, Machala. Recuperado de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1563/7/CD00061.pdf>
- MAE. (2012). Programa de Reparación Ambiental y Social (PRAS). Recuperado el 1 de mayo de 2018, de <http://www.ambiente.gob.ec/programa-de-reparacion-ambiental-y-social-pras/>
- Maldonado, M. (2016). Planeamiento de estrategias socioambientales con enfoque de salud pública: Caso de estudio El Macho. Recuperado de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/7772/1/EXAMEN%20COMPLEXIVO_DE2.pdf
- Masters, G., & Ela, W. (2008). *Introducción a la ingeniería medioambiental*.
- Mihelcic, J. R., & Zimmerman, J. B. (2011). *Ingeniería ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño*. Alfaomega.
- Montoya, G., Hernández, J., Castillo, M., Díaz, D., & Velasco, A. (2008). Vulnerabilidad y riesgo por inundación en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 23(1 (67)), 83–122.
- Municipio de Machala. (2009). Plan de contingencia por inundaciones. Recuperado de https://www.preventionweb.net/files/32644_32367machala1.pdf
- OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable* (Vol. 1). Geneva: WHO.
- Ortiz, M. (2011). La ley de protección del medio marino: Hacia la gobernanza marítima, 31.
- Pérez, B., & Álvarez, M. (2018). Índice de calidad del agua según NSF del humedal laguna Los Milagros (Tingo María, Perú). *INDES Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 2(2), 98–107. <https://doi.org/10.25127/indes.201402.010>

- Pica, A. (2014). Manual para la elaboración de planes de reparación del daño ambiental.
- Programa de Reparación Ambiental y Social. (2018). Subsiste de información de la evaluación y planeación de la reparación integral - SIEPRI. Recuperado el 1 de mayo de 2018, de <http://pras.ambiente.gob.ec/siepri1>
- Quiroz, L., Izquierdo, E., & Menéndez, C. (2017). Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador, 38(3), 41–51.
- Ramírez, A. (2017). *Determinación de Cadmio y Plomo en agua y sedimento del estero “El Macho” de la ciudad de Machala*. Universidad de Guayaquil, Machala. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18532/1/TESIS%20RAMIREZ%2c%20A.pdf>
- Robles, M., Gasca, S., Quintanilla, A. L., Guillén, F., & Escofet, A. (2010). Educación ambiental para el manejo de residuos sólidos: el caso del Distrito Federal, México. *Investigación Ambiental. Ciencia y Política Pública*, 2(1), 46–64.
- Romero, C. (2016). *Machala amenazada por la pérdida de sus manglares, causas, magnitud y medidas de recuperación*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/14850>
- Sáez, A., & Urdaneta G., J. A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 20(3). Recuperado de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=73737091009>
- Samboni, N., Carvajal, Y., & Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172–181.
- Shiva, V. (2003). *Las guerras del agua: privatización, contaminación y lucro*. México: Siglo XXI.
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico* (Primera). Medellín: Ediciones de la U.
- Stuardo, J., & Valdovinos, C. (1989). Estuarios y lagunas costeras: ecosistemas importantes del Chile central., 9.
- Torres, P., Hernán, C., & Patiño, P. (2009). Índices de Calidad de Agua en fuentes superficiales utilizado en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica., 150.
- TULSMA. (2011). *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente*. Quito.



- UNAM. (2008). Método para la determinación de bacterias coliformes, coliformes fecales y *Escherichia coli* por la técnica de diluciones en tubo múltiple (número más probable o NMP).
- Urbina, J., Flores, J., García, M., Torres, L., Torrubias, R., Pilar, M., ... María, R. (2007). Síntomas depresivos en personas mayores: prevalencia y factores asociados. *Gaceta Sanitaria*, 21, 37–42. <https://doi.org/10.1590/S0213-91112007000100008>
- Vargas de Mayo, C. (1983). Métodos simplificados de análisis microbiológicos. Coliforme Fecal. Determinación del número más probable de coliforme fecal por la técnica de los tubos múltiples, 25–32.
- Vesilind, P. A., Worrell, W. A., & Reinhart, D. R. (2002). *Solid Waste Engineering*. Brooks/Cole.
- World Health Organization. (2017). Agua: Nota descriptiva. Recuperado el 29 de marzo de 2018, de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>
- Yáñez, A., Twilley, R. R., & Lara, A. L. (1998). Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global. *Madera y Bosques*, 4(2). Recuperado de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=61740202>

ANEXOS

Anexo A: Curvas de estimación de los parámetros ICA-NSF

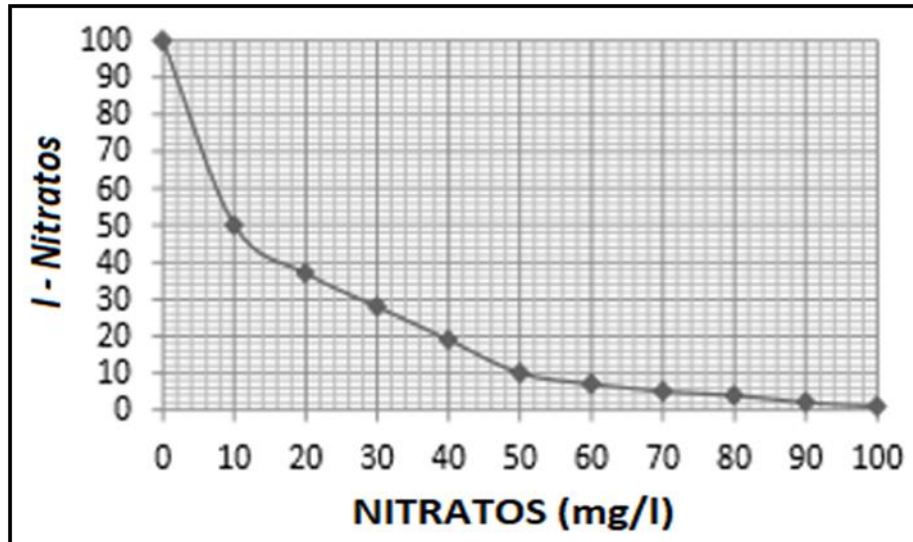


Ilustración 14: Curva de estimación del subíndice de nitratos.
Fuente: Brown et al., 1970.

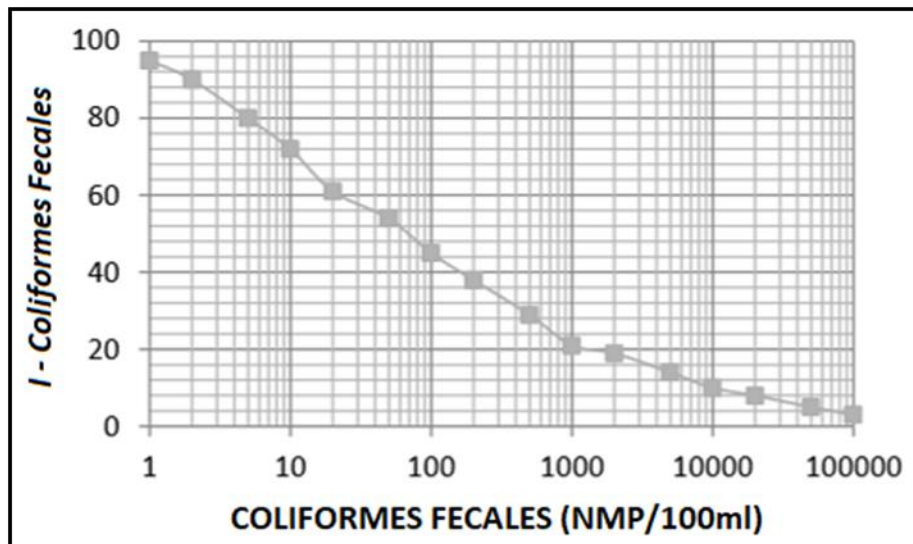


Ilustración 15: Curva de estimación del subíndice de coliformes fecales.
Fuente: Brown et al., 1970.

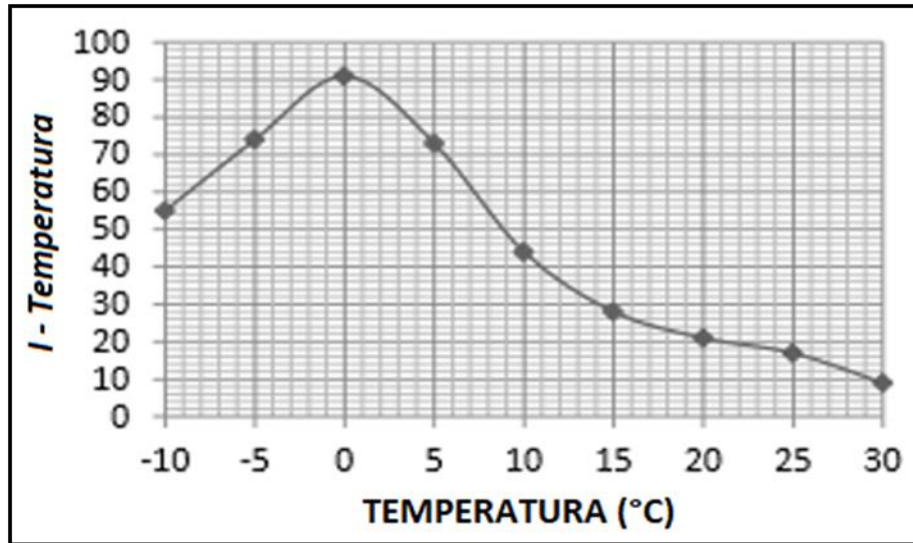


Ilustración 16: Curva de estimación del subíndice de temperatura.
Fuente: Brown et al., 1970.

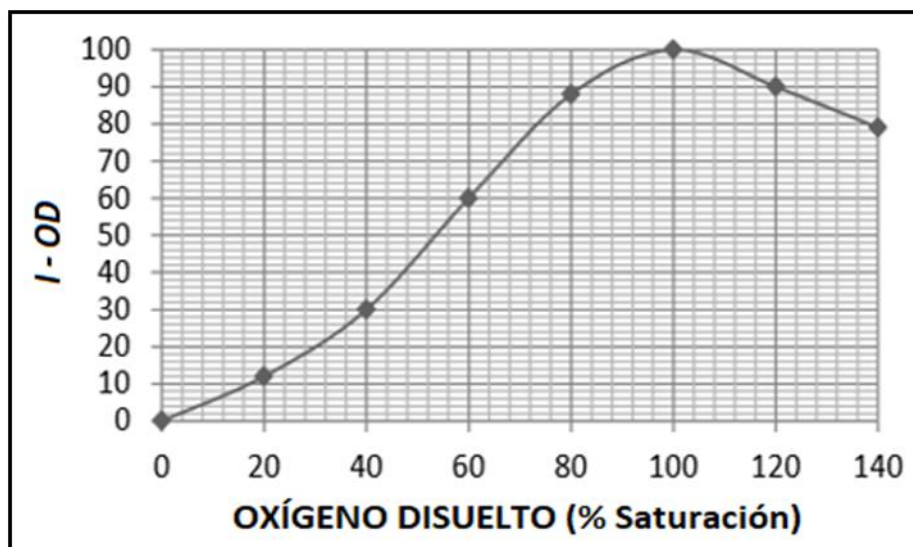


Ilustración 17: Curva de estimación del subíndice de oxígeno disuelto.
Fuente: Brown et al., 1970.

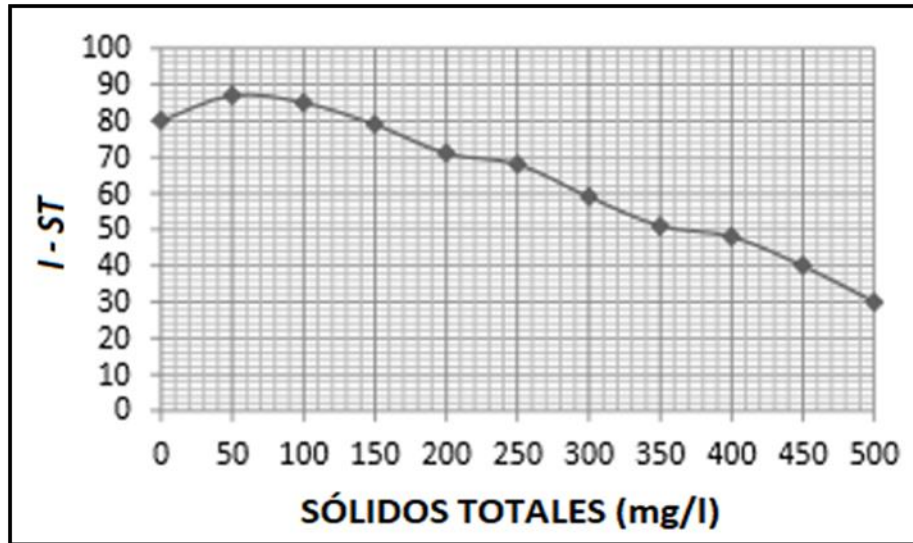


Ilustración 18: Curva de estimación del subíndice de sólidos totales.
Fuente: Brown et al., 1970.

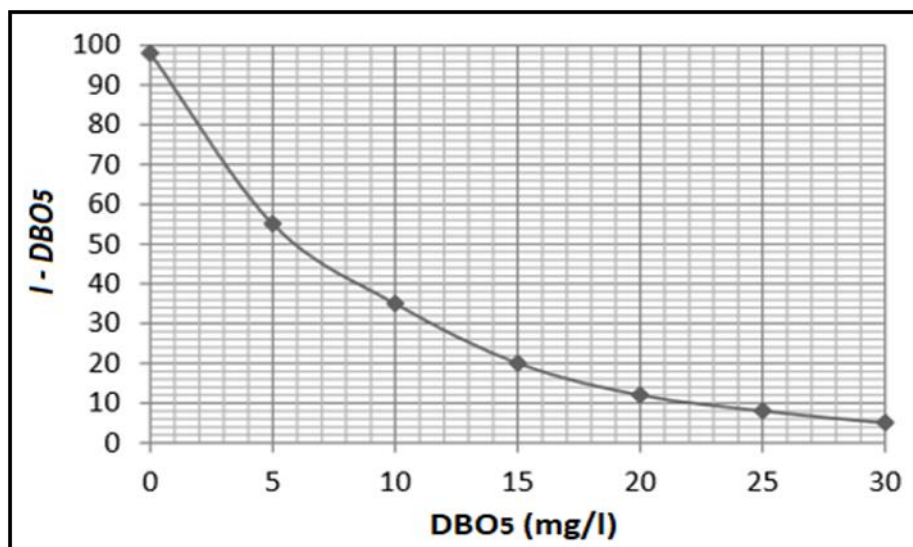


Ilustración 19: Curva de estimación del subíndice de DBO₅.
Fuente: Brown et al., 1970.

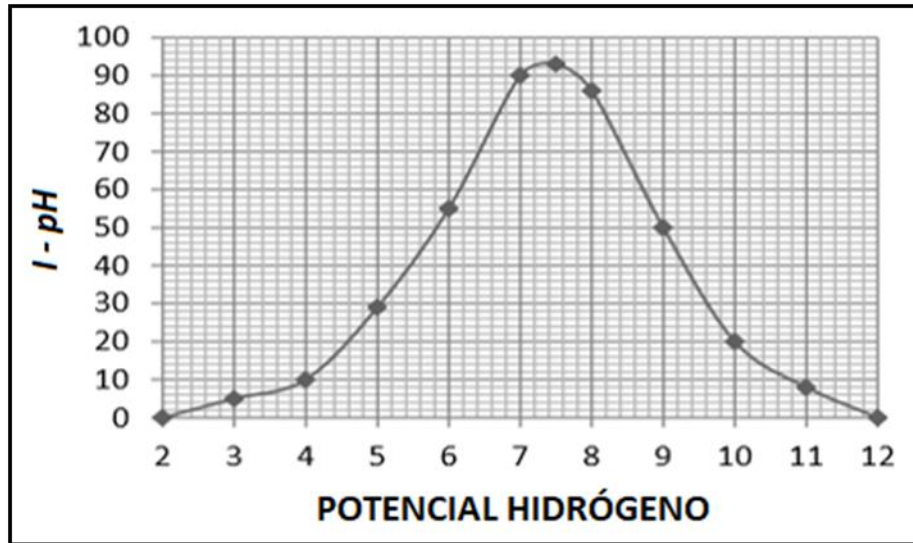


Ilustración 20: Curva de estimación del subíndice de pH.
Fuente: Brown et al., 1970.

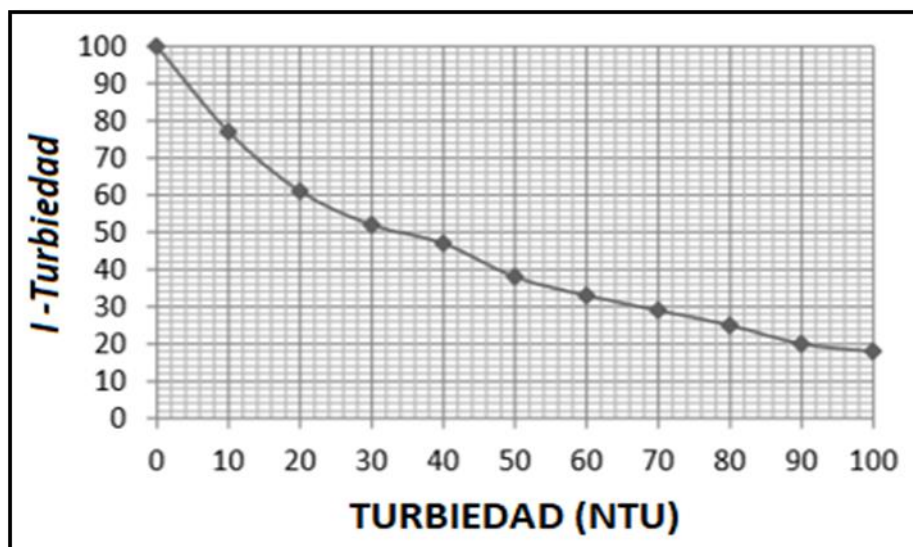


Ilustración 21: Curva de estimación del subíndice de turbiedad.
Fuente: Brown et al., 1970.

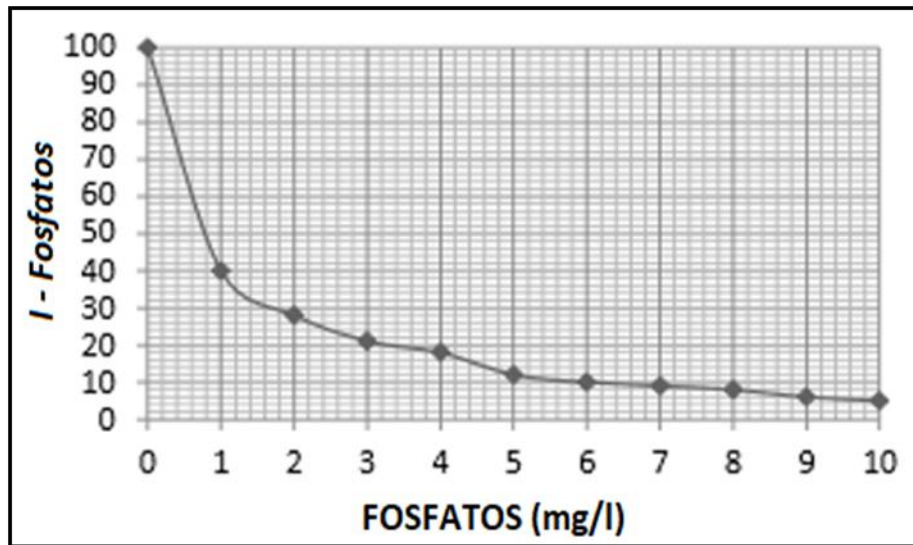
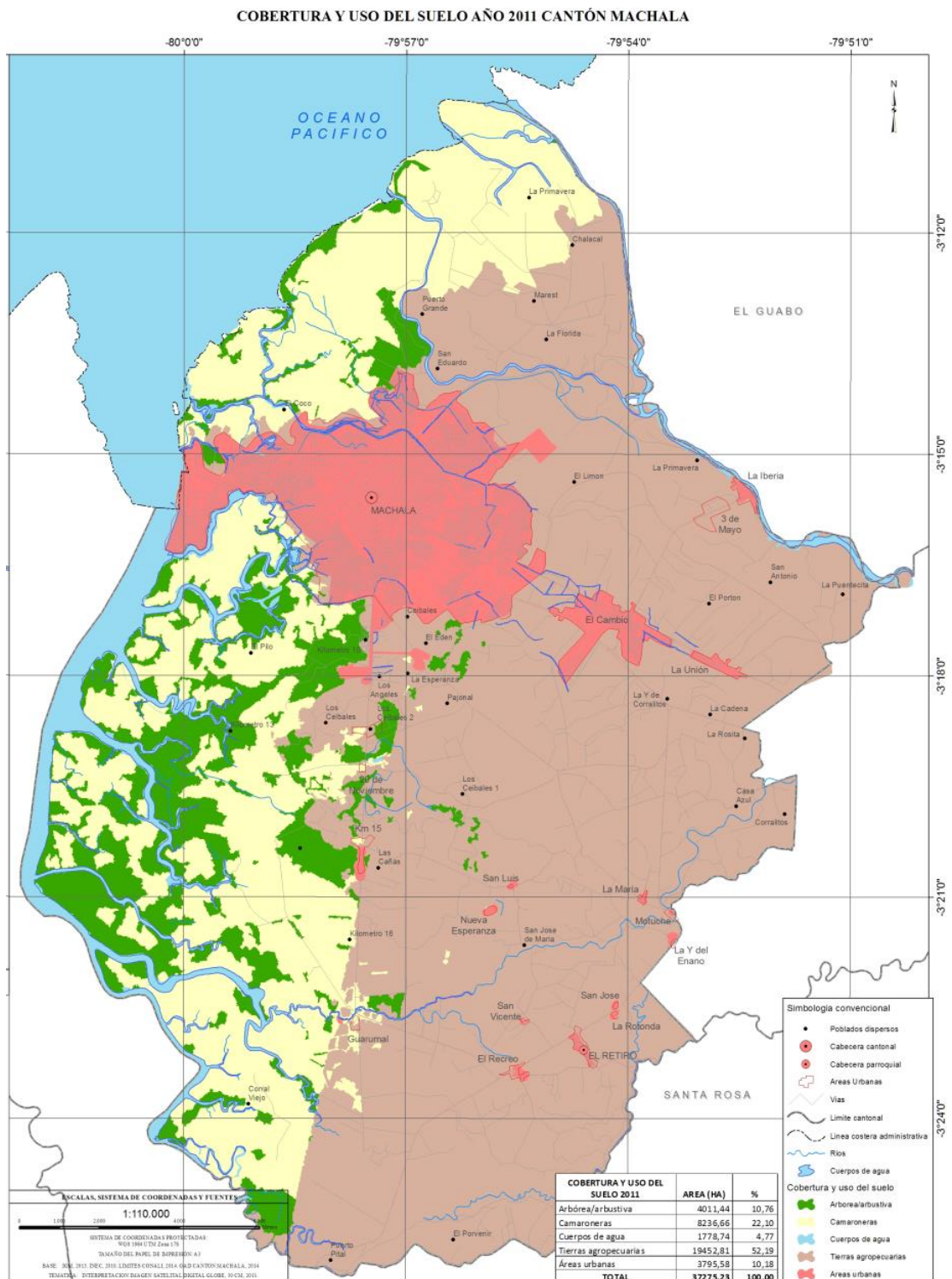


Ilustración 22: Curva de estimación del subíndice de fosfatos.
Fuente: Brown et al., 1970.

Anexo B: Cobertura y uso de suelo del Cantón Machala



*Ilustración 23: Uso de suelo del cantón Machala.
Fuente: GAD de Machala, 2018.*

Anexo C: Puntos de muestreo



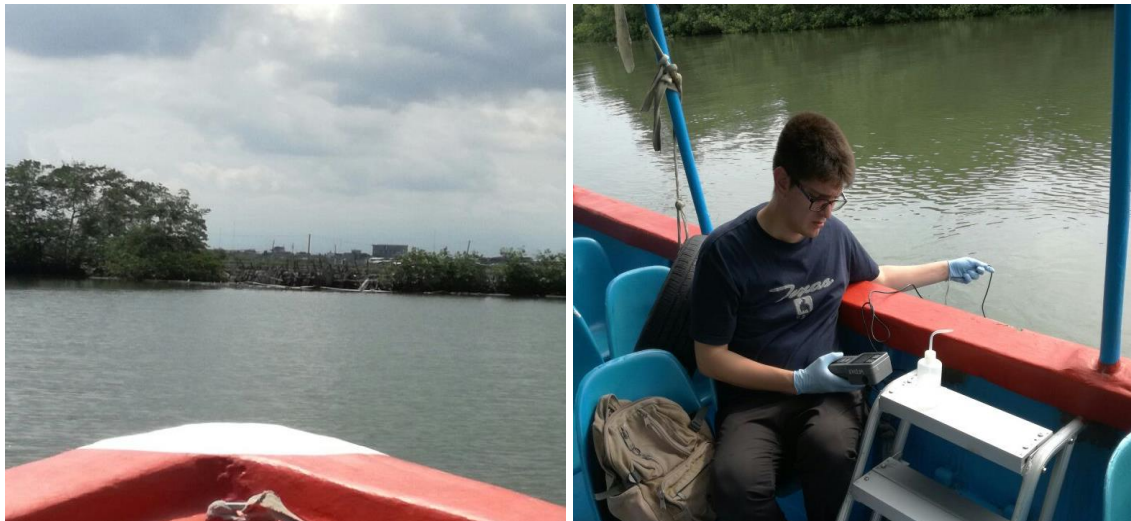
*Ilustración 24: Primer punto de muestreo.
Fuente: Los autores.*



*Ilustración 25: Segundo punto de muestreo.
Fuente: Los autores.*



*Ilustración 26: Tercer punto de muestreo.
Fuente: Los autores.*



*Ilustración 27: Cuarto punto de muestreo.
Fuente: Los autores.*

Anexo D: Fuentes de contaminación del estero



*Ilustración 28: Presencia de residuos sólidos en las riberas del estero.
Fuente: Los autores.*



*Ilustración 29: Descarga de aguas residuales domésticas y quema de basura en el estero.
Fuente: Los autores.*



*Ilustración 30: Lavadoras de vehículos en las riberas del estero.
Fuente: Los autores.*

Anexo E: Resultados de parámetros expedidos por el laboratorio

UNIVERSIDAD DE CUENCA						
FACULTAD DE INGENIERIA						
LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA						
RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y MICROBIOLOGICO DE AGUA						
Muestra procedencia: Parroquia Puerto Bolívar-Canton Machala- Provincia del Oro						
Tipo de fuente: Superficial						
Fecha de toma: 22 de febrero de 2018						
Fecha de Análisis: 22 de febrero de 2018						
Condiciones climatológicas: Nublado						
Análisis solicitado por: Señores: Alfaro Andrade - Wilman Carrión						
PARAMETROS	Rayto de Luz	Planta Asfáltadora	Circunvalación y Doceava Norte	Desembocadura al Mar	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS						
HORA	8:50	9:10	9:45	10:35		
TEMPERATURA	27,2	27,6	28,2	28,3	°C	
OXÍGENO DISUELTO	2,18	1,35	0,19	5,24	mg/l	
TURBIDEZ	4,47	4,82	12,00	3,98	NTU, FTU	
CONDUCTIVIDAD	794,0	976,0	2080,0	44500,0	microsiemens/cm	
PARÁMETROS QUÍMICOS						
pH	8,00	7,90	7,80	8,30		
P-ORTOFOSFATOS TOTALES	3,20	1,14	1,70	0,43	mg/l	como Fósforo
SOLIDOS TOTALES	526,0	629,0	1256,0	36398,0	mg/l	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	3,64	9,18	38,6	0,79	mg/l	
NITRATOS	0,21	0,12	0,15	0,11	mg/l	como Nitrógeno
PARÁMETROS BIOLÓGICOS						
COLIFORMES TOTALES	1,60E+08	1,60E+08	1,60E+09	2,20E+06	NMP/100ml	37°C. 24H
E. COLI	1,70E+06	1,60E+07	2,80E+07	6,80E+03	NMP/100ML	37°C. 24H

Responsable:



Dra. Guillermina Peña C.
DIRECTOR DE LABORATORIO

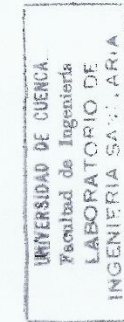
UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería
LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA

Ilustración 31: Resultados de los análisis de laboratorio de la primera campaña de muestreo.
Fuente: Los autores.

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y MICROBIOLOGICO DE AGUA						
Muestra procedencia:	Parroquia Puerto Bolívar-Canton Machala.- Provincia del Oro					
Tipo de fuente:	Superficial					
Fecha de toma:	22 de marzo de 2018					
Fecha de Análisis:	22 de marzo de 2018					
Condiciones climatológicas:	Nublado - Soleado					
Análisis solicitado por:	Señores: Alfaro Andrade - Wilman Carrión					
PARAMETROS	Rayito de Luz	Planta Asfáltadora	Circunvalación y Dolceava Norte	Desembocadura al Mar	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS						
HORA	7:20	7:37	8:03	9:25		
SATURACIÓN DE OXIGENO	28	5,5	2,7	74,5	%	
TEMPERATURA	26,9	26,8	27	25,4	°C	
OXÍGENO DISUELTO	2,23	0,44	0,22	5,15	mg/l	
TURBEDAD	9,34	11,3	16,70	7,66	NTU, FTU	
CONDUCTIVIDAD	584,0	774,0	1382,0	43800,0	microsiemens/cm	
PARÁMETROS QUÍMICOS						
pH	7,40	7,80	7,40	8,30		
P.ORTOFOSFATOS TOTALES	3,25	2,38	2,01	1,05	mg/l	como Fósforo
SOLIDOS TOTALES	396,0	469,0	855,0	38434,0	mg/l	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	2,86	8,12	19,1	1,13	mg/l	
NITRATOS	0,370	0,291	0,236	0,010	mg/l	como Nitrógeno
PARÁMETROS BIOLÓGICOS						
COLIFORMES TOTALES	5,40E+07	9,20E+07	1,60E+09	3,20E+05	NMP/100ml	37°C, 24H
E. COLI	2,20E+05	7,00E+06	2,20E+08	6,10E+04	NMP/100ML	37°C, 24H

Responsable:




Dra. Guillermina Pauta C.
DIRECTOR DE LABORATORIO

Ilustración 32: Resultados de los análisis de laboratorio de la segunda campaña de muestreo.
Fuente: Los autores.

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y MICROBIOLOGICO DE AGUA						
Muestra procedencia: Parroquia Puerto Bolivar - Canton Machala - Provincia del Oro						
Tipo de fuente: Superficial						
Fecha de toma: 10 de mayo de 2018						
Fecha de Analisis: 10 de mayo de 2018						
Condiciones climatológicas: Lluvioso						
Analisis solicitado por: Señores: Alfaro Andrade - Wilman Carrión						
PARAMETROS	Rayito de Luz	Planta Asfaltadora	Circunvalacion y Doceava Norte	Desembocadura al Mar	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARAMETROS FISICOS						
HORA	8:21	8:38	9:00	10:10		
SATURACION DE OXIGENO	35,7	20,6	89	38,3	%	
TEMPERATURA	25,4	25,6	25,8	28,1	°C	
OXIGENO DISUELTO	2,92	1,69	0,65	2,77	mg/l	
TURBIDIDAD	61,4	78,4	49,00	20,1	NTU, FTU	
CONDUCTIVIDAD	393,0	435,0	628,0	18080,0	microsiemens/cm	
PARAMETROS QUIMICOS						
pH	7,70	7,60	7,50	8,00		
P.ORTOFOSFATOS TOTALES	4,76	2,65	4,07	4,33	mg/l	como Fosforo
SOLIDOS TOTALES	395,0	344,0	439,0	13676,0	mg/l	
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	1,72	2,56	5,26	2,06	mg/l	
NITRATOS	0,861	0,671	0,581	0,020	mg/l	como Nitrógeno
PARAMETROS BIOLOGICOS						
COLIFORMES TOTALES	1,40E+07	1,60E+08	1,60E+09	1,60E+05	NMP/100ml	37°C. 24H
E. COLI	2,10E+06	3,90E+06	4,00E+07	1,30E+05	NMP/100ML	37°C. 24H

Responsable:


Dra. Guillermina Pauta C.
DIRECTOR DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería
LABORATORIO DE
INGENIERIA SANITARIA

Ilustración 33: Resultados de los análisis de laboratorio de la tercera campaña de muestreo.
Fuente: Los autores.

Anexo F: Educación ambiental en residuos sólidos

Estrategia	Población meta	Acciones a desarrollar	Metas a cumplir
Comunicación educativa	Sociedad en general	Repartir volantes publicitarios. Realizar campañas a través de medios electrónicos (redes sociales). Publicidad en radio, televisión y prensa escrita.	Dar a conocer la implementación de la ordenanza y las normas que la rigen. Informar sobre el tipo de separación de la basura: residuos orgánicos e inorgánicos.
Difusión	Instituciones educativas Empresas Agrupaciones sociales	Promocionar mediante comunicados el establecimiento de infraestructura adecuada en las instalaciones para el proceso de separación.	Adquirir infraestructura para la correcta disposición de residuos en puntos estratégicos de la ciudad: centros comerciales, mercados, terminal terrestre, etc.
Capacitación y sensibilización	Promotores públicos Empleados de limpieza	Concienciar acerca de los beneficios que proporciona el establecimiento de la ley. Definir tipo de residuos a separar. Realizar talleres de capacitación con material audiovisual a los trabajadores de limpieza en temas de separación adecuada de residuos.	Aceptación y participación activa en el programa por parte de la población. Modificar el comportamiento de la ciudadanía. Ajuste de horarios y rutinas de recolección para el sistema terciado.